Pflanzenschutz Berichte

Herausgegeben von der

Bundesanstalt für Pflanzenschutz Wien

Schriftleiter:

Dr. FERDINAND BERAN, Wien

XXIV. Band, 1960, Heft 3/4

INHALT

Im Selbstverlag der Bundesanstalt für Pflanzenschutz

Wien

PFLANZENSCHUTZBERICHTE

HERAUSGEGEBEN VON DER BUNDESANSTALT FÜR PFLANZENSCHUTZ
DIREKTOR DR. F. BERAN
WIEN II., TRUNNERSTRASSE NR. 5

OFFIZIELLES PUBLIKATIONSORGAN DES ÖSTERREICHISCHEN PFLANZENSCHUTZDIENSTES

XXIV. BAND	APRIL 1960	Heft 3/4

(Aus der Bundesanstalt für Pflanzenschutz, Wien)

Untersuchungen und Gedanken über die Wirksamkeit und Rentabilität der Frostabwehr mit primitiven (Öl-) Heizgefäßen

Von

W. Zislavsky

1. ALLGEMEINES

Unter der großen Zahl der nichtparasitären Schadensursachen besitzt der Spätfrost besondere Bedeutung. Er begrenzt die landwirtschaftliche Expansion frostempfindlicher Kulturarten und setzt dabei scheinbar unüberwindbare Schranken. Leider werden in der Praxis diese Grenzen nicht immer rechtzeitig erkannt und so manche Anlage, die in Unkenntnis der örtlichen klimatischen Verhältnisse in Kaltluftsammelgebieten oder „Frostlöchern" errichtet wurde, ist dann infolge allzuhäufiger Spätfrostkatastrophen zur Unwirtschaftlichkeit verurteilt.

Diesen Fällen, einer wenn auch späten, so doch berechtigten Resignation stehen jene gegenüber, die einen Kampf gegen die Naturgewalten aussichtsreich erscheinen lassen. Die erfolgreiche Abwehr von Spätfrösten ist dabei in erster Linie ein wirtschaftliches und kein technisches Problem. Ob in einer Anlage Frostschutzmaßnahmen rentabel zu stehen kommen, bestimmt entscheidend die Kenntnis der durchschnittlichen Spätfrosthäufigkeit des betreffenden Ortes. Diese Kenntnis wird in vielen Fällen wohl nur aus langjährigen Betriebsaufzeichnungen oder persönlichen Erfahrungen entnommen werden können, wenn die in der Nähe liegenden meteorologischen Stationen für die betreffende Anlage (Weingarten, Obstanlage u. dgl.) zu wenig repräsentativ sind. Da der Einbruch eines Spätfrostes im Frühjahr meist kein engbegrenztes Ereignis darstellt, können die Temperaturstatistiken der nächstliegenden Stationen doch auch eine wertvolle Ergänzung sein.

Auf Grund der Temperaturstatistiken der meteorologischen Stationen ist leicht festzustellen, wie oft in den spätfrostkritischen Monaten April und Mai Temperaturen unter 0° aufgetreten sind. Im Raum von Wien

z. B. treten im April durchschnittlich 1·8 und im Mai durchschnittlich 0·07 Frosttage*), bezogen auf eine Thermometerhöhe von 165 cm auf (Eckel u. Sauberer u. Steinhauser 1955, I. Teil, S. 29). Schädigend wirken aber meist erst Temperaturen unter —1° C, die, wie aus der bei Eckel u. Sauberer u. Steinhauser (1955) angegebenen Häufigkeitsverteilung der Temperaturminima des Monats April hervorgeht (I. Teil, S. 24) 26/55, das sind 47% der Temperaturminima unter 0° C, ausmachen. Die durchschnittliche Zahl der gefährlichen Tage (Minimumtemperatur <—1° C) ergibt sich somit für den Monat April zu rund 0·47 . 1·8 = 0·85. Obwohl durchschnittlich 0·85 frostgefährliche Tage im Jahr zu erwarten sind, bedeutet dies nicht, daß jedes Jahr mit Bestimmtheit ein derartiger Kälterückschlag auftreten muß. Es wird Jahre ohne Spätfrost geben, solche mit einem Spätfrosttag, aber auch solche mit zwei und mehr Spätfrosttagen. Mit welcher Wahrscheinlichkeit diese erwartet werden können ist aus der Formel für die Poissonsche Verteilung leicht zu errechnen.

z sei die langjährig festgestellte durchschnittliche Anzahl der Spätfrosttage pro Jahr, das ist in unserem Falle **0·85.**

a sei die Anzahl der Spätfrosttage, von der wir wissen wollen mit welcher Wahrscheinlichkeit sie (im gleichen Zeitraum wie z) auftritt.

φ (a) ist diese Wahrscheinlichkeit und errechnet sich aus

$$\varphi\,(a) = \frac{e^{-z}\,.\,z^{a}}{a!}\,.\,100\ (\%) \qquad e = 2{\cdot}71828$$

Für z = 0·85 erhält man

$$\varphi\,(0) = 42{\cdot}7\%$$
$$\varphi\,(1) = 36{\cdot}3\%$$
$$\varphi\,(2) = 15{\cdot}4\%$$
$$\varphi\,(3) = 4{\cdot}4\%$$
$$\varphi\,(4\text{ und mehr}) = 1{\cdot}2\%$$

Wenn also durchschnittlich 0·85 Spätfrosttage jährlich zu erwarten sind, dann ergibt die Berechnung der Frosthäufigkeiten, daß unter 100 Jahren durchschnittlich 43 Jahre ohne Spätfrosttag (a = 0), 36 Jahre mit einem Spätfrosttag, 15 Jahre mit 2 Spätfrosttagen usw. im April auftreten werden. Insgesamt sind Spätfrosttage mit einer Wahrscheinlichkeit von 57%, das heißt, ungefähr jedes zweite Jahr im Wiener Gebiet zu erwarten. Ob mit derselben Häufigkeit Schäden auftreten werden, hängt noch von anderen Umständen und Faktoren ab. So sind Spätfröste mit Minimumtemperaturen von —1° C in den ersten Tagen des Aprils noch verhältnismäßig wenig gefährlich. In vorgeschritteneren Entwicklungszustand, wie etwa nach Abfall der Blütenblätter, können Temperaturen von —1° C im Obstbau schon Schaden anrichten (Hodgson u. Schoonover u. Young 1930, Kobel 1954, Klemmer u. Schulz 1955). Aus diesem Grunde muß die Schadenshäufigkeit ge-

---

*) Frosttage sind Tage mit einem Temperaturminimum unter 0° C.

ringer sein als die Häufigkeit der Spätfrosttage mit Minimumtemperaturen unter —1° C. Noch günstiger als im Obstbau liegen die Verhältnisse im Weinbau, da erstens eine Frostanfälligkeit erst nach dem später erfolgenden Austrieb besteht und zweitens der Wein überhaupt tiefere Temperaturen als Obst zu ertragen vermag. Dem Umstande, daß Schadjahre zumindest in geeigneten Kulturlagen verhältnismäßig selten auftreten und nur auf wenige Frosttage beschränkt sind, ist es zu verdanken, daß eine Abwehr des Spätfrostes im Bereiche der wirtschaftlichen Möglichkeit liegt. Der Forderung der Praxis nach Wirtschaftlichkeit (bzw. Billigkeit) eines Frostabwehrverfahrens steht die mindest ebenso bedeutende Forderung nach dessen Wirksamkeit gegenüber.

Der Forderung nach W i r k s a m k e i t kann auf dem Gebiet des Frostschutzes heutzutage leicht entsprochen werden. Nach Ausführungen von W i t t e (1950) konnten z. B. Chrysanthemen bei Bodentemperaturen bis zu —12·5° C und empfindliche Pflanzen wie Bohnen oder Tomaten bis etwa —7° C (durch Beregnung) geschützt werden. Wenngleich solch tiefe Temperaturen bei Frühjahrsfrösten in der Regel nicht zu erwarten sind, ist doch für klimatisch weniger begünstigte Gebiete eine Wirksamkeit des Frostabwehrverfahrens bis etwa —5° C oder —6° C*) zu fordern. Wenn man annimmt, daß —1 bis —2° C von den meisten Obstgewächsen ertragen werden (K e m m e r u. S c h u l z, 1955), entspricht dies einer geforderten Temperaturerhöhung von 4 bis 5° C. Diesen Anforderungen kann nur die Frostabwehrmethode der B e h e i z u n g und der B e r e g n u n g Rechnung tragen. Die Vernebelungsmethode scheidet wegen zu geringer Wirksamkeit aus. Ihre kaum mehr als 2° C umfassende Schutzwirkung reicht nur zur Abwehr schwacher Fröste aus. Die Frostabwehr mit Ventilatoren wurde zwar schon oft versucht (v. E i m e r n u. L o e w e l 1954, K e m m e r u. S c h u l z 1955), doch sind die Flächen mit einer über 2° C hinausgehenden Temperaturerhöhung verhältnismäßig klein. Bessere Erfolge werden vielleicht mit Ölfeuerungs-Warmluftgebläsen zu erzielen sein. Die Idee einer unmittelbaren Kombination von Bewindung und Beheizung (Kohlenfeuer) ist schon bei L ö s c h n i g (1928) zu finden.

Der eben erläuterten Forderung nach Wirksamkeit eines Frostabwehrverfahrens steht die schon erwähnte, weniger leicht erfüllbare Forderung nach B i l l i g k e i t bzw. W i r t s c h a f t l i c h k e i t gegenüber. So stehen viele Betriebe der Anschaffung einer Beregnungsanlage wegen ihrer hohen Anschaffungskosten zurückhaltend gegenüber, obgleich sie, ausreichende Wasservorkommen vorausgesetzt, in den meisten Fällen als bestes Frostabwehrverfahren empfohlen werden kann. Das Interesse an der zwar weniger eleganten und auch weniger sauberen G e l ä n d e h e i z u n g ist daher trotz der eindrucksvollen Erfolge der Frostschutzberegnung auch heute noch in stetem Steigen begriffen.

---

*) Diese Minimumtemperaturen wurden bei Kälterückschlägen im April 1959 in einigen österreichischen Obstanlagen verzeichnet.

2. DIE GELÄNDEHEIZUNG

2,1) Theorie

Die Abwehr entstehender Kaltluftmassen durch Beheizung (Erwärmung) ist, physikalisch gesehen, die naheliegendste Methode des Frostschutzes. Um ein Absinken der Temperaturen durch die nächtliche Ausstrahlung zu verhindern, muß zumindest eine dem Ausstrahlungsverlust entsprechende Wärmemenge zugeführt werden. Die Ausstrahlungsverluste sind bekanntlich stark von der Bewölkung und Bodenbeschaffenheit, aber auch von Temperatur und Luftfeuchtigkeit abhängig. Aus den bei Sauberer (1954) angegebenen Angströmschen Strahlungsformeln und -konstanten errechnet sich für eine Temperatur von —1° C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 50% eine effektive Ausstrahlung von rund —0·15 cal cm^{-2} min^{-1} bzw. —90 kcal m^{-2} h^{-1}. Derselbe Wert ist auch bei Lehmann (1950) zu finden. Sauberer (1956) gibt an, daß auf (sehr stark ausstrahlendem) festen Straßenboden effektive Ausstrahlungswerte von —0·16 cal cm^{-2} min^{-1}, das sind —96 kcal m^{-2} h^{-1}, vorkommen können. In Pflanzenbeständen ist die genaue Errechnung der Strahlungsbilanz verhältnismäßig schwierig, doch liegt nach den Ausführungen von Sauberer (1956) die effektive Ausstrahlung von Wiesenflächen unter jener fester Böden. Es kann daher mit hinreichender Genauigkeit für die durchschnittlich maximale Ausstrahlung einer Pflanzendecke der Richtwert von **—90 kcal** m^{-2} h^{-1} angenommen werden. Umgerechnet auf die Fläche von 1 Hektar ergibt dies einen stündlichen Wärmeverlust von 900.000 kcal. Um diesen Wärmeverlust durch Wärmezufuhr ausgleichen zu können ist die Verbrennung von rund 90 bis 100 kg Öl erforderlich. Der Heizwert der verwendbaren Öle schwankt zwischen 9.000 und 10.000 kcal je Kilogramm. Verluste durch Aufsteigen der erzeugten Warmluft und Abdrift durch selbst nur schwache Winde haben zur Folge, daß nach praktischer Erfahrung in der Regel ein Ölaufwand von 200 bis 300 kg pro Hektar erforderlich wird. Bei der Bekämpfung von Windfrösten kann sich diese Menge noch sehr wesentlich erhöhen.

Auf Grund dieser Überlegungen erscheint es zunächst gleichgültig zu sein, in welcher Form die nötige Kalorienmenge von rund 2,000.000 bis 3,000.000 Kilokalorien der Fläche von 1 Hektar zugeführt wird; denn 1 kg Heizöl liefert zirka 10.000 Kilokalorien, gleichgültig ob es in komplizierten Geländeheizöfen oder nur in behelfsmäßigen Schalen oder Töpfen verbrannt wird. Diese Tatsache gibt der Geländeheizung mit Behelfsmitteln ihre Existenzberechtigung.

Trotzdem besteht aber ein Unterschied zwischen der Verbrennung von Öl in einfachen Heizgefäßen und der Verbrennung in richtig durchkonstruierten Geländeheizöfen. Das Gros der heute speziell zur Frostabwehr angebotenen Geländeheizöfen ist aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt und besitzt meist kegelstumpf- oder zylinderartige Auf-

sätze, welche einen Teil der erzeugten Wärme abstrahlen. Je größer die Mantelfläche des Ofens ist und je höher dessen Manteltemperatur, desto mehr Wärme kann der betreffende Ofen abstrahlen. Die Ausstrahlung der Wärme erfolgt nach dem bekannten Stefan-Boltzmann'schen Gesetz

$$S = E \cdot s \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

wobei E das spezifische Emissionsvermögen, T die absolute Temperatur in °K und s die Strahlungskonstante 4·897 kcal m^{-2} h^{-1} $grad^{-4}$ bedeutet (Brügel 1951). Nach einer Ausführung von Lehmann (1950) beträgt bei übermäßiger Ölheizung mit einer Manteltemperatur von 400° C der Anteil der Strahlungsenergie bereits 15%. Für die weniger starke Manteltemperatur von 300° C ist die Ausstrahlung entsprechend der vierten Potenz des Temperaturverhältnisses geringer und beträgt etwa die Hälfte als bei 400° C, das ist, wenn man den von Lehmann (für 400° C: 15%) angegebenen Wert als Richtwert annimmt, 7·5%. Daß zahlreiche Ofentypen noch geringere Oberflächentemperaturen als 300° C besitzen, geht aus einer Zusammenstellung von Hodgson u. Schoonover u. Young (1930) hervor (S. 70—72), wo Oberflächentemperaturen verschiedener, geprüfter Geländeheizöfen angegeben sind. In grober Schätzung mag daher ein Strahlungsanteil von 5% für die meisten Ofentypen angenommen werden.

Die von derartigen Heizöfen abgegebene Wärmestrahlung wird vom Wind nicht beeinflußt und vermag jeden Körper (Blüten, Blätter usw.) auf den sie auftrifft unmittelbar zu erwärmen. Es erscheint daher verständlich, daß Geländeheizöfen mit strahlungserhöhenden Aufsätzen, Kaminen u. dgl. den einfachen Heizgefäßen in wirkungsmäßiger Hinsicht überlegen sein müssen, da der den Pflanzen als unmittelbare Wärme zugute kommende Strahlungsanteil vom Wind völlig unabhängig ist. Allerdings ist dabei zu bedenken, daß von den rund 5% Wärmestrahlung noch jener Teil verloren geht, der nicht auf den Pflanzenteilen auftrifft, sondern in die Luft gestrahlt wird.

Ein weiterer Vorzug moderner Geländeheizöfen ist deren Ausstattung mit Regulierungsklappen oder verstellbaren Zuglöchern. Infolge der besseren Verbrennung ist meist auch die Rußentwicklung geringer. All diesen unleugbaren Vorteilen steht anderseits als Nachteil der höhere Preis dieser Geräte gegenüber. Durch die kompliziertere Bauweise bedingt, beträgt der Preis dieser Öfen oft ein Vielfaches des Preises einfacher Heizgefäße.

Es erhebt sich daher im Hinblick auf die mit den modernen Geländeheizöfen theoretisch erzielbare bessere Wirkung die Frage, ob der höhere Preis mit dieser Wirkung im Einklang steht. Es erhebt sich außerdem die Frage, ob die Beheizung mit einfachen, billigen Heizgefäßen heutzutage als überholt angesehen werden muß. Die Praxis verlangt wirksame und billige Geräte. Aus diesem Grunde

wurde in unseren Versuchen auf die Prüfung einfacher und daher billiger Heizgeräte besonderes Augenmerk gelegt. In Freilandversuchen größeren Umfanges sollte geprüft werden, ob auch einfache Geräte den gestellten Anforderungen eines wirksamen Frostschutzes entsprechen können.

2.2) Versuche

Die Anregung zu dieser Arbeit bot die Tatsache, daß seit einiger Zeit in Österreich billige kübelartige Blechgefäße mit Verwendungsmöglichkeit als Heizgefäße im Handel sind und vielfach schon zu Frostschutzzwecken verwendet wurden. Der Unterstützung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft und der Niederösterreichischen Landes-Landwirtschaftskammer ist es zu danken, daß mit diesen Heiztöpfen der Fa. Riess (Ybbsitz, N.-Ö.) Großversuche durchgeführt werden konnten. Weiterer Dank gebührt auch Herrn K. Fiegl (Weinzierl b. Krems, N.-Ö.), der uns seine Obstanlage in Neustift b. Krems in großzügiger Weise zur Verfügung stellte.

Die Heizgefäße der Fa. Riess — im folgenden kurz als Riess-Heiztöpfe bezeichnet — sind kübelartige Blechgefäße aus rohem Eisenblech ausreichender Wandstärke. Sie werden in zwei Größen hergestellt (Abb. 1). Die kleinere Type mit einem maximalen nutzbaren Inhalt von 5·5 Litern kostete S 19·60 (mit Deckel S 23·40); die größere Type, die speziell auf Wunsch der Bundesanstalt für Pflanzenschutz, Wien, angefertigt wurde, mit einem maximalen nutzbaren Inhalt von 10 Litern kostete S 26.— (mit Deckel S 33·60). Das nutzbare Fassungsvermögen der 5·5-Liter-Type beträgt zirka 4 bis 4·5 kg Öl, das der

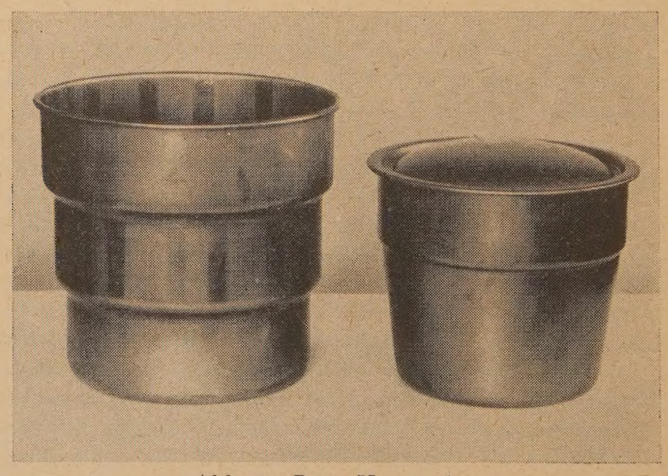


Abb. 1: Riess-Heiztöpfe.

10-Liter-Type zirka 8·5 bis 9 kg Öl. Die Töpfe sind nahtlos geprägt. Die Deckel dienen als Regenschutz und greifen gut passend über den Rand des Topfes und sind selbst durch stärkeren Wind nicht leicht abzuheben. Töpfe und Deckel besitzen keine Henkel. Es wurde versucht, durch Anbringung eines Drahtbügels mit Holzgriff eine einfache Tragvorrichtung zu schaffen, doch hat sich diese nicht bewährt. Das Hantieren mit den Töpfen ohne Henkel ging viel zeitsparender vonstatten. Abb. 2 zeigt die kleine Topftype in brennendem Zustande.



Abb. 2: 5·5-Liter-Riess-Töpfe, brennend.

Im Jahre 1958 wurden zur Bestimmung von Heizleistung und Brenndauer zunächst orientierende Vorversuche unternommen, über deren Ergebnis bereits berichtet wurde (Z i s l a v s k y 1958). Aus Tab. 3 jener Arbeit ist zu entnehmen, daß die Brenndauer in jenen Versuchen mit etwa 5 Stunden bestimmt werden konnte. Es sei an dieser Stelle ergänzend hinzugefügt, daß bei der Erprobung der Töpfe in den Großversuchen des Jahres 1959 eine wesentlich kürzere Brenndauer beobachtet wurde. Die 10-Liter-Topftype hat wegen der größeren Oberfläche des Ölspiegels eine (allerdings nur geringfügig) längere Brenndauer als die 5·5-Liter-Type aufzuweisen. Die Brennleistung der 10-Liter-Type ist allerdings wesentlich höher.

2.21) G r o ß v e r s u c h 1958

Über diesen Großversuch, der in der häufig frostgefährdeten Obstanlage des Herrn K. F i e g l in Neustift bei Krems (N.-Ö.) durchgeführt wurde, ist bereits in einer früheren Arbeit (Z i s l a v s k y 1958) berichtet worden. Die Ergebnisse seien daher an dieser Stelle nur auszugsweise wiedergegeben.

Auf einer rechteckigen Fläche von **1·23 ha** wurden insgesamt **95 Stück 10-Liter-Töpfe** und **298 Stück 5-Liter-Töpfe** im Dreiecksverband aufgestellt. Die Reihenweite der Bäume (Apfel, Weichsel, Zwetschke, Pfirsich, Marille) betrug **6 m.** Mit einigen Spatenstichen wurden die Riess-Töpfe in der Mitte zwischen den Baumreihen in Abständen von **7 m** in die Erde versenkt. Sämtliche (4) Randreihen und deren nächstinneren Reihen wurden doppelt mit Heiztöpfen besetzt (Abstand der Töpfe hier 3·5 m). Zum Aufstellen wurde ein zweirädriges Handwägelchen verwendet, mit dem eine größere Anzahl von Töpfen und Deckeln an Ort und Stelle in die Reihen transportiert werden konnte. Der zur Aufstellung benötigte Arbeitsaufwand betrug, umgerechnet auf 1 Hektar (320 Töpfe), etwa 10 Arbeitsstunden.

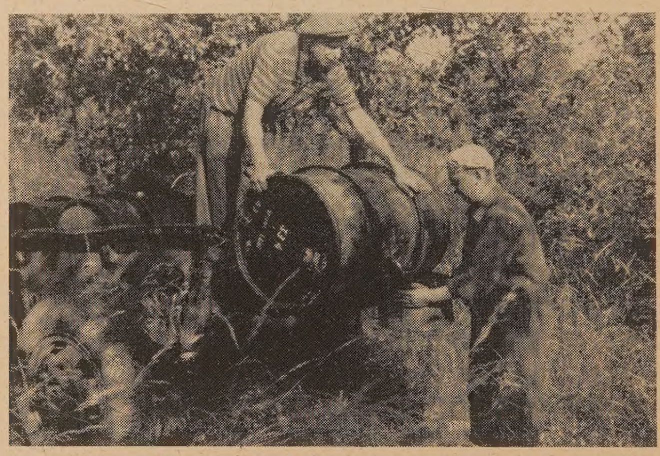


Abb. 3: Füllen eines Heizgefäßes. (Die Aufnahme wurde, wie ersichtlich, erst im Sommer zur Zeit des Einholens der Töpfe gemacht.)

Das Füllen der Heizgefäße verursachte zunächst einiges Kopfzerbrechen. Tankwagen stand keiner zur Verfügung und so wurden einige (3 bis 4) 200-Liter-Heizölfässer auf einem zweirädrigen Eisenkarren mit einem Traktor durch die Reihen gefahren und das Heizöl mit Kübeln zu den Heiztöpfen (3 Reihen) gebracht. Beim Füllen der Kübel erwies sich breitseitiges Kippen des Fasses am zweckmäßigsten (Abb. 3). Hähne und Pumpen haben sich nicht bewährt. Der Arbeitsaufwand für 1 Hektar (320 Töpfe) betrug rund 20 Arbeitsstunden (3 Mann + Traktorführer während 4·9 Stunden).

Das Anzünden der Töpfe erfolgte in der Nacht vom 17. Mai zum 18. Mai 1958, als nach kurzen Regenschauern der Himmel aufklarte und bei nachlassenden Winden Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt zu erwarten waren. Die Erwartung täuschte allerdings und es wurden nur Minimumtemperaturen um +4° C bald nach Mitternacht in der Anlage

erreicht. Um den Versuch nicht ergebnislos abbrechen zu müssen wurden um 3.40 Uhr bei einer Durchschnittstemperatur von +5'5° C die Töpfe gezündet. 3 Mann mit Zündkannen besorgten das Anzünden. Teilweise wurden auch Fackeln verwendet, da bei zwei Zündkannen der Ausflußschlitz etwas zu eng dimensioniert war und das Anzünden zu langsam ging. Ansonst bewährten sich Zündkannen und Fackeln (in Verbindung mit einem kleinen, einen Liter fassenden Plastik-Benzinkanister) recht gut. Lötlampen dagegen versagten. Zumindest ging die versuchsweise verwendete 0'5-Liter-Type ständig aus.

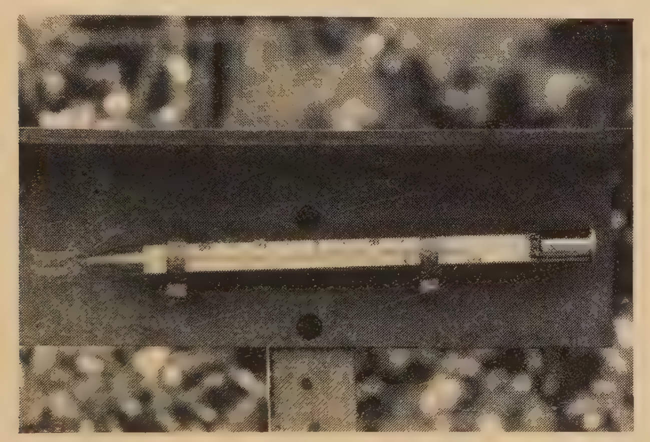


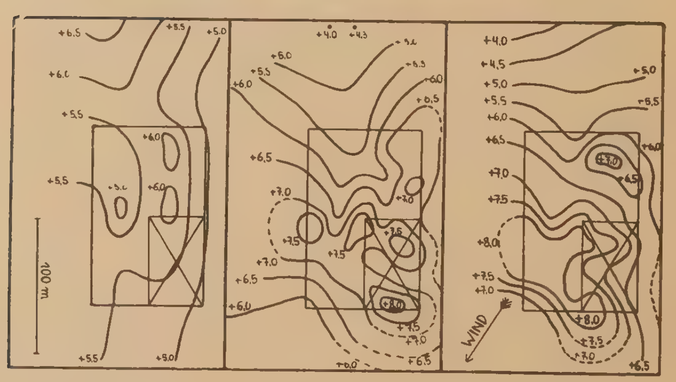
Abb. 4: Minimumthermometer

Zur Temperaturmessung wurden geeichte meteorologische Minimumthermometer verwendet (Abb. 4), die auf einer Holzlatte montiert waren und zum Schutze gegen die Eigenausstrahlung ein kleines Holzbrettchen als Dach besaßen. Insgesamt waren 40 Thermometer in 1'30 m Höhe über dem Erdboden in der Anlage (innerhalb und außerhalb des beheizten Gebietes) verteilt (Abb. 5). Bei der Beurteilung des Heizeffektes (Abb. 6) ist zu beachten, daß nur die Hälfte der aufgestellten Heizgefäße in Betrieb genommen worden war, das sind **196 Töpfe/1'23 ha = 160 Töpfe/ha.** Während des Heizversuches wehte stets leichter Wind (zirka 5 bis 10 km/h) aus westlicher Richtung und führte die erzeugte Wärme und mächtige Rauchschwaden mit sich fort. Um 4.30 Uhr wurde mit dem Löschen der Töpfe durch Abdämpfen der Flammen mit dem Deckel begonnen. Es ging störungslos vor sich.

Die Wirkung der Beheizung ist Abb. 6 zu entnehmen. Es zeigt sich, daß während der Beheizung gegenüber den Randgebieten eine maximale Temperatursteigerung von etwa 2° C erzielt werden konnte. **Die durchschnittliche Temperaturerhöhung beträgt etwa 1'5° C.** Für die ver-



Abb. 5: Thermometerständer.



2 Uhr 30 bis 3 Uhr, ungeheizt | 4 Uhr 15 bis 4 Uhr 35, geheizt | 4 Uhr 30 bis 5 Uhr, geheizt

Abb. 6: Temperaturverteilung (Grad C) in einem Ausschnitt der Obstplantage Fiegl, Neustift bei Krems, in der Versuchsnacht vom 18. 5. 1958. Das mit 149 5-Liter-Riess-Töpfen und mit 47 10-Liter-Riess-Töpfen beheizte Gebiet ist durch ein Rechteck gekennzeichnet (10-Liter-Riess-Töpfe im kleinen Rechteck mit den Diagonalen).

Die tieferen Temperaturen (4 Grad C) im oberen Teil (SW) des eingezeichneten Gebietes sind durch leichten Geländeabfall bedingt. Das beheizte Gebiet liegt, abgesehen von kleineren Mulden, nahezu eben. Die maximale Heizwirkung (Temperaturdifferenz gegen den Rand des beheizten Gebietes) ist mit etwa 2 Grad C zu beziffern.

wendete Ofendichte von nur 196 in Betrieb gesetzten Töpfen pro 1·23 ha = 160 Töpfe/ha ist dieser Wert recht zufriedenstellend und läßt bei Betrieb der üblichen Ofendichte (300 Stück ha) wesentlich günstigere Resultate erwarten.

Im Berichtsjahre 1958 ereigneten sich auch in der folgenden Zeit keine Kälterückschläge, so daß die unterdessen wieder gefüllten Töpfe schließlich Mitte Juni abgeräumt wurden. Das restliche Heizöl wurde in die Fässer zurückgeleert (Abb. 7). Zuletzt wurden die Heizgefäße eingesammelt, wobei wieder ein Handwägelchen die Arbeit erleichterte. Der Arbeitsaufwand für das Rückleeren des nicht verbrauchten Öls und das Abräumen der Heiztöpfe betrug, umgerechnet auf 1 Hektar, 20 Arbeitsstunden. Nicht eingerechnet ist dabei die Zeit für Verladen, Abtransport und Reinigung der Töpfe.



Abb. 7: Rückleeren des Öls.

2.22) Geländeheizversuche 1959

2,221) Versuch 1

Da sich im Jahre 1958 keine Kälterückschläge mit Frosttemperaturen ereigneten, war geplant die Versuche im Jahr 1959 fortzusetzen. Herr K. Fiegl stellte wieder in dankenswerter Weise seine Obstanlage in Neustift bei Krems (Niederösterreich) zur Verfügung. Mit dem Aufstellen der Heizgefäße (Riess-Heiztöpfe) wurde diesmal gezögert, da der Besitzer der Anlage vor dem Aufstellen noch eine Bodenbearbeitung durchführen wollte. Dieses Zögern erwies sich leider als verhängnisvoll, denn die vorsommerlichen Wärmewellen in der ersten und zweiten Dekade des Monats April wurden nach einer kurzen Periode kühleren, regnerischen Wetters von einem jähen Temperatursturz abgelöst. Da Heizgefäße und Bedienungspersonal von Wien

aus an den Versuchsplatz gebracht werden mußten, konnte der Heizversuch erst in der zweiten schwereren Frostnacht (21./22. April 1959) stattfinden.

Zur Charakterisierung des Temperaturverlaufes im Monat April ist folgender Bericht den Monatsübersichten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien (April 1959), entnommen:

„Der April 1959 war in ganz Österreich zu warm, meist um 1 bis 2 Grad und größtenteils zu niederschlagsreich.

In den Tagesmitteltemperaturen brachte die erste und vor allem die zweite Monatsdekade je eine vorsommerliche Wärmewelle mit Höhepunkten am 5. und 15., wobei die Temperaturen in der Niederung zeitweise bis zu 7° und auf den Bergen bis zu 11° übernormal waren. Kälterückfälle während der ersten Monatshälfte überschritten die Normalwerte der Temperatur nur unwesentlich, wogegen die zweite Wärmewelle zu Beginn der letzten Monatsdekade von einem empfindlichen Temperatursturz abgelöst worden war, bei dem die Tagesmitteltemperaturen ziemlich gleichartig in allen Höhenlagen um 6° unternormal waren. Die langsame, jedoch stetige Erwärmung führte sodann während der letzten Pentade zu geringfügigen übernormalen Temperaturwerten.

Dieser Kaltlufteinbruch zu Beginn der letzten Dekade brachte fast allgemein am 21. oder 22. das absolute Temperaturminimum mit Frosttemperaturen, wobei in der Niederung häufiger —2° C und in höheren Lagen sogar —5° C unterschritten wurden. Am Morgen des 21. war auch in der Niederung stellenweise der Boden hart gefroren.

Das absolute Maximum der Temperatur trat während der beiden vorsommerlichen Wärmewellen auf und überschritt gebietsweise 25° C. Es stellte sich vorwiegend um den 15. ein, teilweise jedoch auch um den 5."

Das den Kälteeinbruch auslösende Tiefdruckgebiet entstand am 15. April als Sekundärzyklone eines großen atlantischen Tiefdruckgebietes und befand sich am 16. April über der Bretagne und erreichte am 19. nach Überquerung Mitteleuropas die Karpathen. Dadurch gelangte die an der Rückseite der Zyklone südwärts strömende Kaltluft in den mitteleuropäischen Raum und verursachte ein starkes Absinken der Temperaturen. So meldeten am Morgen des 20. April zahlreiche Stationen Minimumtemperaturen unter dem Gefrierpunkt (z. B. Lunz: —1° C, Mariazell: —3° C, Retz: 0° C, Wien: +2° C, Hieflau: —1° C, Freistadt: —1° C, Krems: +1° C, usw.)*). Auch in der Höhe erfolgte kräftige

*) Entnommen den täglichen Wetterberichten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Kaltluftadvektion. In exponierten Lagen wären also bereits in dieser Nacht Frostschutzmaßnahmen erforderlich gewesen. Auf Grund vergleichender Temperaturstudien*) kann für die Obstanlage in **Neustift bei Krems** am Morgen des 20. April ein Temperaturminimum von —2·5° C angenommen werden.

Wesentlich kritischer wurde die Situation in der Nacht vom 20. auf den 21. April. Das durch die Kaltluftadvektion sich nun über Mitteleuropa aufbauende Hochdruckgebiet verursachte heiteres Wetter und damit günstige Bedingungen für eine starke nächtliche Ausstrahlung. Fast alle österreichischen Stationen melden Minimumtemperaturen unter dem Gefrierpunkt (Lunz: —6° C, Mariazell: —4° C, Retz: —2° C, Krems: —1° C, Wien: 0° C, Hieflau: —2° C, Freistadt: —6° C usw.) Auch in der Höhe hat die Kaltluftadvektion ihren Höhepunkt erreicht. In dieser Nacht kam es verbreitet im Obstbau zu **schweren Schäden**, soferne nicht wirksame Abwehrmaßnahmen ergriffen worden waren.

Die folgende Nacht vom 21. zum 22. April brachte kaum minder tiefe Temperaturen, wenngleich der Höhepunkt des Kaltlufteinbruchs bereits überschritten war und die abgesetzte Kaltluftmasse sich schon langsam erwärmte. Auch diese Nacht war für den Obstbau eine Katastrophe.

In der Nacht vom 22. zum 23. April war erstmals eine deutliche Milderung der nächtlichen Temperaturen zu beobachten. Minimumtemperaturen unter 0° C wurden nur mehr in exponierten Lagen gemessen (Wien: +3° C, Krems: +1° C, Lunz: 0° C, Mariazell: 0° C, Retz: 0° C, Zwettl: —3° C, Freistadt: —2° C, Hieflau: + 1° C). Unter Hinweis auf die Fußnote von S. 45 ergibt sich für die Anlage in Neustift eine Minimumtemperatur von —2·5° C.

In der Nacht vom 23. zum 24. April herrschten in Österreich sehr unterschiedliche Verhältnisse, als eine über den Karpaten befindliche Störung in einem Teil Österreichs gegen Morgen Niederschläge verursachte. Niederösterreich, Oberösterreich, Burgenland und Vorarlberg blieben vom Frost verschont und nur in den anderen Bundesländern wurden teilweise noch Temperaturen unter dem Gefrierpunkt beobachtet.

Auf Grund der vorangegangenen Ausführungen sind als Katastrophennächte in erster Linie die Nächte vom **20. zum 21.** und **21. zum 22. April** zu nennen. In besonders exponierten Lagen trat jedoch auch am 19. zum 20., 22. zum 23. und vereinzelt auch am 23. zum 24. April Frost auf.

In besonders ungünstigen Lagen wären also Frostschutzaktionen in fünf Nächten, in günstigeren Lagen dagegen nur in zwei Nächten erforderlich gewesen. Zweitägige Frostschutzmaßnahmen erscheinen wirtschaftlich tragbar; für eine fünf Tage währende Abwehr muß dies jedoch selbst für wertvolle Kulturen ernsthaft bezweifelt werden. Auch die Anlage Neustift ist mit 4 Frosttagen als überaus spätfrostgefährdet zu

---

*) Temperaturminimum der Anlage in Neustift meist um 3·5° C tiefer als das Temperaturminimum der Station Krems.

bezeichnen. Da auch in vergangenen Jahren in dieser Anlage wiederholt Schadensfälle zu verzeichnen waren, wurde nach der Vernichtung des gesamten Fruchtansatzes anläßlich des Katastrophenjahres 1959, mit ihrer Eliminierung begonnen.

Der Geländeheizversuch Nr. 1 wurde, wie bereits eingangs erwähnt, erst in der zweiten bedeutenderen Frostnacht (21. zum 22. April) durchgeführt. Die Aufstellung der Riess-Heiztöpfe ging infolge Zeitdruckes und dank der Erfahrungen des vergangenen Jahres bereits viel rascher vonstatten. **362 Heiztöpfe** (273 Stück 5'5-Liter-Töpfe und 89 Stück 10-Liter-Töpfe) konnten von 4 Mann in 2¼ Stunden, das sind 9 Arbeitsstunden, aufgestellt werden. Die Aufstellung erfolgte in einem langgestreckten Weichselquartier im Rechtecksverband, so, daß zwischen jede Baumreihe eine Ofenreihe plaziert wurde. Der Abstand der Baumreihen und somit auch der Ofenreihen betrug **6 m.** Sämtliche Randreihen (auch quer) wurden doppelt mit Heiztöpfen besetzt. Die große Topftype kam zur Gänze in der linken und rechten Randreihe zur Aufstellung (jedoch nur in der unteren Hälfte; siehe Abb. 8). Längs der Baumreihen betrug die Anzahl der Heiztöpfe in den beiden Randreihen je 70 Stück, in den übrigen 6 Reihen je 37 Stück. Die Breite des Heizfeldes (erste bis letzte Ofenreihe) betrug 42 m, die Länge 265 m. Der durchschnittliche Abstand der Heiztöpfe im Innern des Heizfeldes entlang der Reihen ergibt sich zu **7'6 m,** wogegen er in den Randreihen **3'8 m** betrug. Da der Standraum eines jeden Heizgefäßes die Hälfte der Distanz zu den unmittelbar benachbarten Heizgefäßen umfaßt, ist die angegebene Länge und Breite des Heizfeldes (l = 265 m, b = 42 m) nach jeder Richtung um den Betrag einer halben Reihenentfernung zu vergrößern, um auch den Standraum der am Umfange befindlichen Heizgefäße zu berücksichtigen. Man erhält daher eine **Heizfläche von 273 × 48 m, das sind 1'31 ha (Abb. 8).** 362 Heiztöpfe auf einer Fläche von 1'31 ha ergeben eine **Aufstellungsdichte (Ofendichte) von 276 Stück/ha.** Dieser Wert liegt innerhalb der üblichen Grenzen (200 bis 300 Stück/ha).

Sofort nach Beendigung der Aufstellung der Heiztöpfe wurde mit dem Füllen begonnen. 5½ Mann benötigten hiezu 3¼ Stunden, das sind rund 18 Arbeitsstunden. Wie auch im Vorjahre wurden die Ölfässer mit einem von einem Traktor gezogenen Eisenkarren (Fassungsvermögen: 3 bis 4 Fässer) durch die Reihen gefahren und das Öl mit gewöhnlichen Kübeln zu den Heiztöpfen, die diesmal nicht in die Erde eingesenkt waren, herangetragen. Dabei wurden auch die Töpfe der Reihen links und rechts (insgesamt also 3 Reihen) gefüllt. Am zweckmäßigsten erwies sich wieder breitseitiges Kippen (Rollen) des Fasses und Unterhalten der Kübel.

Die Arbeit des Aufstellens und Füllens der Heizgefäße wurde am Abend des 21. April um 19.30 Uhr beendet (Beginn: 14 Uhr); am Vormittag waren die Töpfe und sonstigen Versuchsgeräte in Wien verladen und erst gegen Mittag nach Neustift transportiert worden. In der Zeit

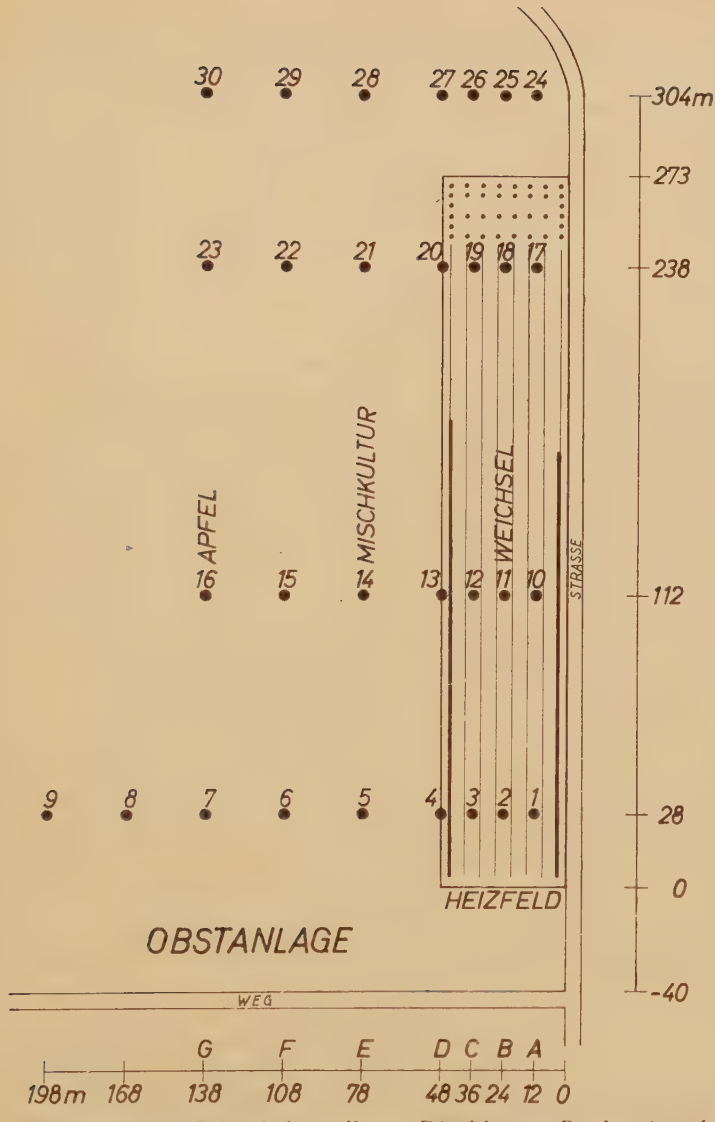


Abb. 8: Schematische Geländedarstellung. Die kleinen Punkte im oberen Bereich des Heizfeldes zeigen die Anordnung der Heiztöpfe in den Randgebieten. Die Fortsetzung dieser, insgesamt acht Ofenreihen ist durch Striche symbolisiert. Die etwas dicker ausgezogenen Strecken in den beiden Randreihen geben die Lage der großen (10 l-)Riess-Heiztöpfe an. Die Positionen der Thermometer sind durch die Zahlen 1 bis 30 markiert. Im waagrechten Profil ist außerdem die Position der senkrecht verlaufenden Thermometerreihen mit den Buchstaben A bis G gekennzeichnet (unterer Maßstab).

nach 21 Uhr wurden 30 Thermometerständer (Abb. 5, siehe auch S. 41) innerhalb und außerhalb des zu beheizenden Gebietes in der Anlage verteilt und anschließend die Thermometer an diesen Ständern in 1·5 m Höhe befestigt. Die Verteilung der Thermometer ist aus der in Abb. 8 dargestellten Geländeskizze zu ersehen. Es wurden geeichte, sehr genaue meteorologische Minimumthermometer verwendet (Skalenbereich: —25° C bis +25° C; Abb. 4). Das Aufstellen der Thermometer war gegen 22.30 Uhr beendet worden. Zu dieser Zeit — dies muß bemerkt werden — war die Temperatur bereits unter den Gefrierpunkt abgesunken. Schon um 22 Uhr wurden —1·5° C gemessen! Der Beginn des Frostes wurde nicht direkt beobachtet, dürfte jedoch um 21 Uhr gelegen sein.

Der Abend war heiter und die sternklare, schon zu Beginn sehr kalte Nacht ließ extrem tiefe Minimumtemperaturen erwarten. Es wurde daher beschlossen, den Heizversuch erst in der zweiten Nachthälfte, in der die niedrigsten Temperaturwerte zu erwarten waren, durchzuführen, denn es war von vorneherein klar, daß die Heizgefäße nicht die ganze Nacht brennen würden. Ein Nachfüllen des Öls wäre sowohl hinsichtlich des Zeitaufwandes, als auch in arbeitstechnischer Hinsicht, völlig aussichtslos gewesen.

Die Ablesung der Thermometer während der Nacht besorgten 3 Mann. Die dazu benötigte Zeit betrug höchstens 15 Minuten. Die Ablesungen wurden, beginnend mit 0.15 Uhr (bzw. 0.07 bis 0.22; 22. April 1959) in stündlicher Wiederholung durchgeführt.

Das Anzünden der Heizgefäße wurde von ebenfalls 3 Mann mit Hilfe von Anzündkannen ausgeführt. Um 0.20 Uhr wurde mit dem Anzünden begonnen, um 0.50 Uhr brannten bereits alle Töpfe. Im Vorjahre (1958) benötigte 1 Mann zu 100 Töpfen rund 40 Minuten, 1959 dagegen nur etwa 25 Minuten. 1958 arbeiteten zwei von den drei Zündkannen wenig zuverlässig, da infolge zu kleiner Ausflußöffnung zu wenig Zündgemisch (Benzin-Dieselöl, 2 : 1) ausfloß, so daß die Töpfe wiederholt ausgingen und nachgezündet werden mußten. Dieser Mangel wurde im Berichtsjahre durch Erweiterung der Ausflußöffnung mittels eines Nagels restlos behoben, so daß diesmal das Anzünden störungslos und daher auch rascher erfolgen konnte.

Im Gegensatz zur Erwartung wurden die Minimumtemperaturen bereits kurz vor Mitternacht, also noch vor dem Anzünden erreicht. Durch Aufzug einer sich immer mehr verdichtenden Bewölkung (Altocumulus) trat nach Mitternacht eine fortschreitende Milderung des Frostes ein. Die Windgeschwindigkeit während der Nacht war so gering, daß ein Schalen-Handanemometer (Fuess) meist nicht mehr ansprach. Die Wirkung des Windes war aber deutlich durch die Abdrift der mächtigen, dunklen Rauchwolken zu erkennen. In unmittelbarer Nähe der ruhig brennenden einzelnen Heiztöpfe war eine deutliche Zugwirkung zu erkennen, die offensichtlich auch zur Förderung der Verbrennung beitrug.

Tabelle 1:

Temperaturen während des Heizversuches vom 22. April 1959

Thermometer Nr.	Min. (ca. 23.30) °C	0.15 Uhr °C	1.15 Uhr °C	2.15 Uhr °C	3.15 Uhr °C	4.15 Uhr °C	5.15 Uhr °C
H 1 . .	—3·3	—3·0	**+2·9**	**+2·8**	**+0·8**	—	0·0
H 2 . .	—3·0	—2·9	**+4·0**	**+3·9**	**+1·3**	0·0	0·0
H 3 . .	—3·6	—3·0	**+5·1**	**+5·2**	**+1·2**	+0·1	0·0
H 4 . .	—3·8	—3·3	**+7·2**	**+8·8**	**+8·3**	—0·4	—0·2
5 . .	—3·5	—3·3	—1·1	—1·3	—1·0	—0·5	0·0
6 . .	—3·7	—3·4	—1·8	—1·6	—1·3	0·0	—0·2
7 . .	—3·5	—3·0	—1·9	—1·5	—1·5	—0·2	—0·2
8 . .	—3·5	—3·0	—2·5	—1·8	—1·4	—0·1	—0·1
9 . .	—3·5	—3·4	—2·7	—2·0	—1·6	—0·5	—0·2
H 10 . .	—3·6	—	—	**+2·4**	**+0·8**	0·0	—0·1
H 11 . .	—3·8	—	**+3·0**	**+2·9**	**+1·9**	0·0	0·0
H 12 . .	—4·0	—	**+2·2**	**+2·7**	**+1·4**	—0·1	—0·1
H 13 . .	—4·0	—	**+0·8**	**—0·2**	**0·0**	0·0	+0·1
14 . .	—3·7	—	—2·0	—1·5	—1·0	—0·6	—0·1
15 . .	—4·2	—	—2·5	—1·7	—1·3	—0·5	—0·2
16 . .	—3·7	—	—2·6	—	—1·2	—0·5	—0·1
H 17 . .	—3·2	—1·6	**+2·7**	**+2·3**	**+1·2**	+0·4	+0·3
H 18 . .	—3·5	—1·9	**+3·5**	**+3·5**	**+2·2**	+0·4	+0·2
H 19 . .	—3·7	—2·2	**+4·5**	**+5·7**	**+0·2**	+0·2	+0·2
H 20 . .	—3·8	—2·8	**+5·0**	**+5·0**	**+0·5**	+0·2	+0·1
21 . .	—3·9	—3·0	—2·1	—1·5	—1·2	0·0	0·0
22 . .	—4·0	—3·0	—2·6	—1·9	—1·4	—0·5	—0·1
23 . .	—3·6	—2·8	—2·5	—2·5	—1·2	—0·3	+0·1
24 . .	—3·3	—2·4	—2·8	—2·0	—1·4	0·0	—0·3
25 . .	—3·4	—2·0	—2·8	—2·0	—1·4	—0·1	—0·3
26 . .	—3·8	—2·5	—3·2	—2·4	—1·5	—0·5	—0·4
27 . .	—	—2·8	—2·7	—2·0	—1·2	—0·3	—0·4
28 . .	—	—	—	—	—	—	—
29 . .	—4·0	—3·0	—3·0	—2·2	—1·5	—0·1	—0·2
30 . .	—4·0	—	—	—	—1·5	—0·4	0·0
B . .	0·1	0·2	0·3	0·5	0·8	0·9	0·8
	—	—	Heizung	Heizung	Heizung	—	—
Z . .	0	0	100%	100%	~85%	~5%	0

H = Thermometer innerhalb des Heizfeldes
B = Bewölkung in Zehnteln
Z = Prozentuelle Anzahl der brennenden Töpfe

Die Ergebnisse der Temperaturmessungen sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Wie die Geländeskizze in Abb. 8 zeigt, befinden sich die Thermometer 1 bis 4, 10 bis 13 und 17 bis 20 innerhalb des Heizfeldes; alle übrigen liegen außerhalb. Mit dem Anzünden der Heizgefäße war, wie bereits erwähnt, um 0.20 Uhr begonnen worden (Ende 0.30 Uhr). Um 3.15 Uhr waren zirka 15% der Riess-Töpfe leergebrannt. Um 4.15 Uhr

brannten nur mehr zirka 3% und dies äußerst spärlich. Als mittlere Brenndauer ist die Zeit zwischen 0.35 und 3.45 Uhr anzunehmen. Dies ergibt rund 3·2 Stunden.

Die durch die Beheizung erzielte Temperatursteigerung ist aus Tabelle 1 sehr auffällig zu ersehen (Fettdruck). Während im unbeheizten Raum die Temperatur während der Heizung beträchtlich unter dem Nullpunkt gelegen war, ist diese innerhalb des beheizten Gebietes fast ausnahmslos positiv. Selbst nach der praktischen Beendigung der Heizung (3.45 Uhr) ist noch eine deutliche Nachwirkung der vorangegangenen Erwärmung zu verzeichnen.

Die Ergebnisse von Tabelle 1 sind durch Mittelwertsbildung in Tabelle 2 zusammengefaßt und in Temperaturmessungen innerhalb des Heizfeldes und in Temperaturmessungen außerhalb des Heizfeldes gegliedert.

Tabelle 2:

Durchschnittstemperaturen innerhalb und außerhalb des Heizfeldes

Zeit	Innerhalb des Heizfeldes °C		Außerhalb des Heizfeldes °C		Differenz °C		
Min.	—3·60	±0·09	—3·71	±0·06	+0·11	±0·11	(o)
0.15 Uhr .	—2·56	±0·22	—2·89	±0·11	+0·33	±0·24	(o)
H 1.15 . . .	+3·72	±0·52	—2·43	±0·13	+6·15	±0·53	(***)
H 2.15 . . .	+3·75	±0·65	—1·86	±0·09	+5·61	±0·65	(***)
H 3.15 . . .	+1·65	±0·63	—1·33	±0·04	+2·98	±0·63	(***)
4.15 . . .	+0·07	±0·07	—0·30	±0·05	+0·37	±0·09	(***)
5.15 . . .	+0·04	±0·04	—0·16	±0·03	+0·20	±0·05	(***)

H = Heizung; (o) = nicht gesichert; (***) = mit P $\leq$ 0·1% gesichert.

Abb. 9 zeigt graphisch den zeitlichen Verlauf dieser Temperaturen. Der allmähliche, ziemlich gleichmäßige Anstieg der Temperatur außerhalb des Heizfeldes ist einer, mit Bewölkungsaufzug verbundenen, natürlichen Erwärmung zuzuschreiben. Weitaus größer als diese natürliche Erwärmung ist die durch die Beheizung hervorgerufene Temperaturerhöhung, die, wie Tabelle 2 und Abb. 10 zeigen, kurz nach Beginn der Heizung ungefähr 6° C betrug. Auch der durch das Niederbrennen des Öls entstehende Leistungsrückgang kommt in Tabelle 2 bzw. in Abb. 10 deutlich zum Ausdruck. Zur Verringerung der Erwärmung trägt allerdings auch der Ausfall einiger Heiztöpfe bei (um 3.15 Uhr brennen nur mehr zirka 85% von den 362 Heiztöpfen). Um 4.15 Uhr beträgt die Temperaturerhöhung nur mehr 0·37° C; 97% der Öfen sind bereits verlöscht und die restlichen brennen nur mehr sehr spärlich. Um 5.15 Uhr haben sich die Temperaturen wieder ausgeglichen. Der Unterschied beträgt nur +0·20° C, ist jedoch statistisch hoch gesichert. Da zu dieser Zeit keine Öfen mehr brennen, dürfte es sich um eine

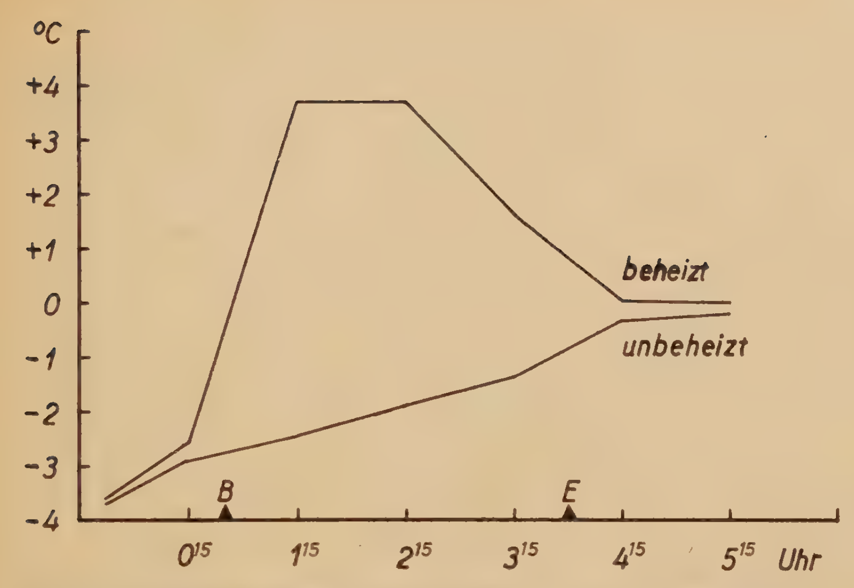


Abb. 9: Durchschnittlicher Temperaturverlauf innerhalb und außerhalb des Heizfeldes während des Heizversuches vom 22. April 1959.
B = Beginn der Heizung (Durchschn.), E = Ende der Heizung (Durchschn.).

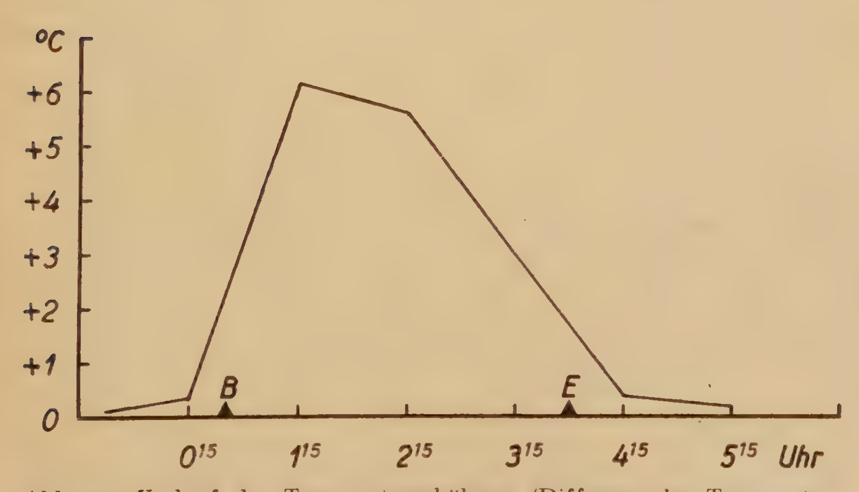


Abb. 10: Verlauf der Temperaturerhöhung (Differenz des Temperaturverlaufes: beheizt — unbeheizt von Abb. 9) während des Heizversuches vom 22. April 1959.
B = Beginn der Heizung (Durchschn.), E = Ende der Heizung (Durchschn.).

N a c h w i r k u n g der Beheizung handeln, indem die erwärmte Umgebung noch geringe Wärmereserven besitzt.

Die verschiedene Lage der Temperaturmeßstellen (Lageeffekt) kommt beim Vergleich der D u r c h s c h n i t t s t e m p e r a t u r e n kaum zum Ausdruck. So sind die durchschnittlichen Minimumtemperaturen innerhalb und außerhalb des Heizfeldes nur um 0·11° C voneinander verschieden. Da diese Differenz jedoch statistisch nicht gesichert ist, muß sie als z u f ä l l i g gewertet werden. Ebenso nicht gesichert und daher zufällig ist die v o r Beginn der Heizung um 0.15 Uhr beobachtete Temperaturdifferenz von 0·33° C.

T a b e l l e 3:

Temperaturprofil

(parallel zur Schmalseite des Heizfeldes)

Uhr - Zeit	A	B	C	D	E	F	G
Min.	—3·4° C	—3·4° C	—3·8° C	—3·9° C	—3·7° C	—4·0° C	—3·6° C
H 1.15 .	—	+3·5	+3·9	+4·3	—1·7	—2·3	—2·3
H 2.15 .	+2·5	+3·4	+4·5	+4·5	—1·4	—1·7	—
H 3.15 .	+0·9	+1·8	+0·9	+2·9	—1·1	—1·3	—1·3
4.15 .	—	+0·1	+0·1	—·01	—0·4	—0·3	—0·3
5.15 .	+0·1	+0·1	—0·0	0·0	—0·0	—0·2	—0·1
	HF	HF	HF	HF			

Die angegebenen Temperaturen sind M i t t e l w e r t e, die aus den in Tabelle 1 angegebenen Temperaturen der nachstehend genannten Meßstellen errechnet wurden:
A: 1, 10, 17; B: 2, 11, 18; C: 3, 12, 19; D: 4, 13, 20; E: 5, 14, 21; F: 6, 15, 22; G: 7, 16, 23.
H = Heizung; HF = Temperaturwerte innerhalb des Heizfeldes.

Abb. 11 zeigt das Temperaturprofil parallel zur Schmalseite des Heizfeldes. Die dargestellten und in Tabelle 3 angegebenen, zugehörigen Werte sind Mittelwerte der Profile 1 bis 7 (untere Reihe), 10 bis 16 (mittlere Reihe) und 17 bis 23 (obere Reihe) (siehe Abb. 8). Die letzte Reihe mit den Thermometerpositionsnummern 24 bis 30 wurde nicht miteinbezogen, da sie außerhalb des Heizfeldes liegt. Aus Abb. 11, bzw. aus Tabelle 3 ist zu entnehmen, daß v o r d e r B e h e i z u n g (Minimumtemperaturen um zirka 23.30 Uhr und n a c h d e r B e h e i z u n g längs des Profils nur geringfügige örtlich bedingte Temperaturverschiedenheiten bestehen. W ä h r e n d d e r B e h e i z u n g dagegen (1.15, 2.15, 3.15 Uhr) sind die Temperaturen im Heizfeld stark angehoben. Der linear dargestellte Temperaturabfall am linken Rand des Heizfeldes dürfte in Wirklichkeit gekrümmten Verlauf zeigen, indem die Temperatur am Rande des Heizfeldes stark abfällt, um dann allmählich die in einiger Entfernung vom Heizfeld beobachtete Temperatur zu erreichen. In 27 Meter Entfernung vom Heizfeld (Position E) ist, wie der Verlauf der Kurven

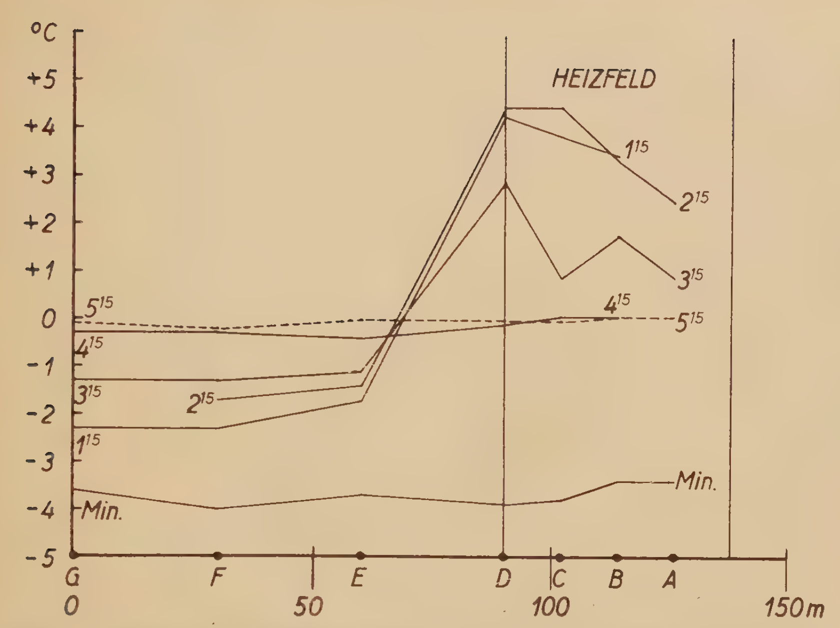


Abb. 11: Mittleres Temperaturprofil, parallel zur Schmalseite des Heizfeldes während des Heizversuches vom 22. April 1959. Der Bereich des Heizfeldes ist durch zwei senkrechte Striche gekennzeichnet. Wie in Abb. 8 bezeichnen die Buchstaben A bis G die Lage der (senkrechten) Thermometerreihen. Zur näheren Erläuterung siehe auch Tabelle 3.

von Abb. 11 zeigt, noch eine gewisse, allerdings geringfügige Erwärmung feststellbar (zirka 0·4° C). Diese ist nicht allein auf das theoretisch zu erwartende Temperaturgefälle, sondern auch auf die Abdrift der Wärme durch den Wind zurückzuführen.

Die Temperaturverteilung im gesamten Versuchsgebiet wurde nur für den Zeitpunkt 1.15 Uhr (beheizt) graphisch dargestellt (Abb. 12). Auf die zeichnerische Wiedergabe der Temperaturverteilungen der übrigen Ablesetermine wurde verzichtet, da infolge der reihenweisen Anordnung der Thermometer, in Verbindung mit der langgestreckten Form des Versuchsfeldes, keine genaue Isothermendarstellung möglich war. In den Versuchen des Jahres 1958 waren die Thermometer verstreut angeordnet und daher auch eine hinreichend genaue Isothermendarstellung möglich gewesen (Abb. 6). In zukünftigen Versuchen wird daher die Reihenaufstellung der Thermometer, die manche Vorteile bietet, mit einer verstreuten Aufstellung zu kombinieren sein.

Die Isothermendarstellung in Abb. 12 zeigt, daß die während der Beheizung aufgetretenen Temperaturmaxima ziemlich eng begrenzt und gegen die linke Seite des Heizfeldes verschoben sind. Diese Ver-

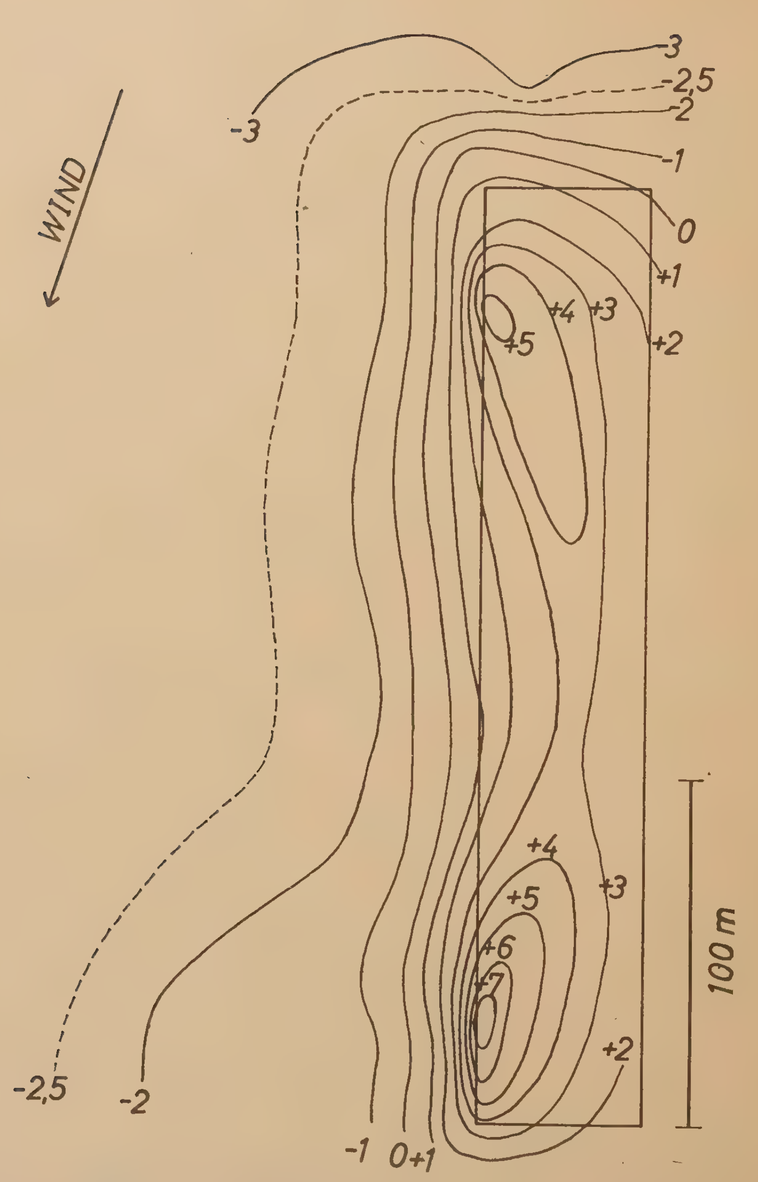


Abb. 12: Temperaturverteilung (°C) in einem Ausschnitt der Obstplantage Fiegl, Neustift bei Krems, während des Heizversuches vom 22. 4. 1959 um 1.15 Uhr. Das beheizte Gebiet ist durch ein Rechteck gekennzeichnet.

schiebung dürfte durch die schwache Windwirkung erklärbar sein. Ob tatsächlich nur zwei Temperaturmaxima vorliegen und ob diese vielleicht nicht etwas längere Gestalt hätten, kann wegen des verhältnismäßig großen Abstandes zwischen den Thermometerreihen nicht mit Sicherheit entschieden werden. Auf jeden Fall verblüfft (wie auch schon bei Durchsicht von Tabelle 1) die Tatsache, daß die während der Heizung beobachteten Temperaturmaxima wider Erwarten groß sind. So zeigt Thermometer Nr. 4 um 1.15 Uhr eine Temperatur von +7·2° C (Mitteltemperatur unbeheizt: —2·43° C) und um 2.15 Uhr gar +8·8° C (Mitteltemperatur unbeheizt: —1·86° C). Dies bedeutet maximale Temperaturerhöhungen um **9·6° C** bzw. **10·7° C**! Die zugehörigen mittleren Temperaturerhöhungen betragen (Tabelle 2) **6·15 ± 0·53° C** (1.15 Uhr) und **5·61±0·65° C** (2.15 Uhr). Auch diese Durchschnittswerte der Temperaturerhöhung liegen über den erwarteten Werten. Im allgemeinen nimmt man bei der Geländeheizung nur eine Temperaturerhöhung um höchstens 3 bis 4° C an.

Tabelle 4:

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Datum	21./22. April 1959
Kultur	Weichsel
Heizfläche (Heizfeld)	1·31 Hektar (273×48 Meter)
Abstand der Ofenreihen	6 Meter
Ofenabstand in der Reihe	7·6 Meter
Ofenabstand in den Randreihen	3·8 Meter
Riess-Töpfe, kleine Type: 273 Stück (Füllung zirka 4·8 Liter = 4·4 kg Öl).	
Riess-Töpfe, große Type: 89 Stück (Füllung zirka 8·9 Liter = 8·2 kg Öl).	
Gesamtofenzahl (Rechtecksverband)	326 Stück Rechtsverband
Aufstellungsdichte	276 Stück/Hektar
Mittlere Brenndauer	Zirka 3·2 Stunden
Gesamtölverbrauch	Zirka 1931 kg
Verbrauch pro Hektar	Zirka 1474 kg
Durchschnittlicher Verbrauch pro Heiztopf	Zirka 5·33 kg
Mittlerer stündlicher Verbrauch pro Hektar	Zirka 461 kg
Mittlerer stündlicher Verbrauch pro Heiztopf	Zirka 1·67 kg
Mittlere Wärmeentwicklung pro Hektar und Stunde	Zirka 4,610.0 0 kcal.
Mittlere Temperaturerhöhung	+4·91° C
Wirkungskoeffizient	Zirka 1·06° C/100 kg Öl/Hektar Stunde

Der Betrag der Temperaturerhöhung hängt außer von den meteorologischen Verhältnissen (Wind, Inversion usw.) auch von der Aufstellungsdichte der Heizöfen und deren Leistung entscheidend ab. Eine sach-

gerechte Diskussion der Heizwirkung verlangt daher die Berücksichtigung sämtlicher Versuchsumstände, die aus diesem Grunde in Tabelle 4 zusammengestellt sind.

Die mittlere Temperaturerhöhung wurde aus den Werten für 1.15, 2.15 und 3.15 Uhr berechnet (Tabelle 2). Diesem Betrag von 4·91° C steht ein Ölverbrauch von 461 kg pro Hektar und Stunde gegenüber, entsprechend einer stündlichen Wärmeentwicklung von 4,610.000 kcal/Hektar; (Heizwert von 1 kg Heizöl rund 10.000 kcal). Bereits auf Seite 36 wurde darauf hingewiesen, daß normalerweise nur ein Ölaufwand von 200 bis 300 kg/ha üblich ist. Wenn man nun annimmt, daß durch stündliche Verbrennung von 300 kg Heizöl eine durchschnittliche Temperatursteigerung von 3° C erzielt werden kann, dann läßt eine einfache Schlußrechnung erwarten, daß durch Verbrennung von 461 kg Öl eine Temperatursteigerung von 4·6° C erzielt werden sollte. Beobachtet wurde tatsächlich eine Temperaturerhöhung von 4·91° C. Es läßt sich somit diese überdurchschnittliche Heizwirkung zwangslos durch den höheren Ölverbrauch und die damit verbundene stärkere Wärmeentwicklung erklären.

Die Zulässigkeit dieser Umrechnung ergibt sich aus einfachen kalorimetrischen Betrachtungen. So beträgt die zur Erwärmung (um ΔT ° C) einer Masse **m** mit einer spezifischen Wärme **c** nötige Wärmemenge $mc\,\Delta T$ Kalorien (Westphal 1953). Doppelte Wärmemenge bedeutet doppelte Temperaturerhöhung. Nichtlineare Funktionskomponenten sind bei der Geländeheizung sicherlich vernachlässigbar. In der Formel $w = mc\,\Delta T$ ist außer der Temperatur auch die Masse variabel. Dies ist auch bei der Geländeheizung zu beachten. Wenn während der Beheizung Wind herrscht, so kommt die erzeugte Wärmemenge einer viel größeren Luftmasse zugute als bei Windstille und gemäß der Formel $\Delta T = \frac{w}{mc}$ wird die Temperaturerhöhung geringer ausfallen. Anderseits wird bei niedriger und stark ausgeprägter Temperaturinversion (kleines m) der Temperatureffekt höher sein als bei Fehlen einer Inversion.

Zur objektiven Beurteilung eines Heizversuches (bzw. eines Vergleiches zwischen verschiedenen Heizversuchen) ist daher die Eliminierung der verschiedenen Brennstoffmenge durch Angabe eines Wirkungskoeffizienten (**W**) zu empfehlen. Darunter wird jene Temperaturerhöhung verstanden, die sich bei Umrechnung auf 100 kg Öl/Hektar Stunde ergibt. Der Wirkungskoeffizient des beschriebenen Heizversuches (22. April 1959) errechnet sich aus $W = \frac{4{\cdot}91 \times 100}{461}$ zu

W = 1·06° C/100 kg Öl/Hektar Stunde.

Besser noch ist die Angabe eines kalorischen Wirkungskoeffizienten (**Wk**), da dieser auch einen allfällig verschiedenen

Wärmeinhalt verschiedener Brennstoffe eliminiert (z. B. Vgl. Öl — Briketts). Zweckmäßig ist Bezugnahme dieses Koeffizienten auf eine der Verbrennung von 100 kg Öl (zu 10.000 kcal/kg) entsprechende Wärmemenge von 1,000.000 kcal = 1.000.000.000 cal = 1 Gigakalorie = 1 Gcal. Der kalorische Wirkungskoeffizient des Versuches vom 22. April beträgt **Wk = 1·06° C/Gcal/Hektar Stunde.** Da Heizöl mit einem Wärmeinhalt von 10.000 kcal/kg verwendet wurde, sind diese beiden Koeffizienten, wie ersichtlich, numerisch identisch.

Interessant ist ein Vergleich mit anderen Geländeheizungsversuchen. Für die zwar idealisierte, aber in der Praxis geläufige Annahme: 300 Öfen/Hektar, Leistung pro Ofen: 1 kg Öl/Stunde, Temperaturerhöhung: 3° C, ergibt sich ein Wirkungkoeffizient von **1° C/100 kg Öl/Hektar Stunde.** Dieser Wert kann als ungefährer Richtwert dienen. Der im beschriebenen Versuch vom 22. April festgestellte Wirkungskoeffizient von 1·06 ist mit diesem theoretischen Wirkungskoeffizienten praktisch identisch. Im Versuch vom 18. Mai 1958 waren zirka 190 kg Öl/Hektar Stunde verbrannt worden, wobei die durchschnittliche Temperaturerhöhung zirka 1·5° C betrug (Z i s l a v s k y 1958). Dies ergibt einen Wirkungskoeffizienten von **W = zirka 0·79° C/100 kg Öl/Hektar Stunde.** Diese ungünstigere Wärmeausnutzung ist vor allem der Wirkung des Windes (zirka 5 bis 10 km/h) während der Beheizung zuzuschreiben.

Zum Abschluß dieser Versuchsdiskussion soll nun auch die A r b e i t s b i l a n z im Mittelpunkt unserer Betrachtungen stehen. Es wurden benötigt zum

Aufstellen	9	Arbeitsstunden/1·31 Hektar
Füllen	18	Arbeitsstunden/1·31 Hektar
Zünden	1·2	Arbeitsstunden/1·31 Hektar

Dies ergibt auf 1 H e k t a r umgerechnet (276 Töpfe/Hektar):

Aufstellen	6·9	Arbeitsstunden
Füllen	13·7	Arbeitsstunden
Zünden	0·9	Arbeitsstunden

1958 wurden folgende Zeiten benötigt (bezogen auf 1 Hektar) (320 Töpfe/Hektar):

Aufstellen	10	Arbeitsstunden
Füllen	19·6	Arbeitsstunden
Zünden	zirka 2	Arbeitsstunden

Der Unterschied von 9 Arbeitsstunden zwischen den Versuchen von 1958 und 1959 (Aufstellen + Füllen) ist zum Teil auf die unterschiedliche Topfanzahl, zum Teil auf rationelleres Arbeiten, vor allem aber auf den Zeitdruck, der ein pausenloses Arbeiten notwendig machte, zurückzuführen, da die Heiztöpfe noch vor Einbruch der Nacht einsatzbereit sein mußten (Beginn des Aufstellens erst 14 Uhr). Es erscheint daher zweckmäßig den Mittelwert beider Versuche, das sind z i r k a 25 A r b e i t s-

stunden für Aufstellen und Füllen, als Richtwert anzunehmen. Es ist jedoch dazu zu bemerken, daß die für einen eventuellen Transport der Heizgefäße zur betreffenden Anlage benötigte Zeit hierin nicht eingerechnet ist, da diese wohl von Fall zu Fall verschieden sein wird. Auch die während der Frostnacht benötigte Anzahl an Arbeitsstunden wird je nach Beginn und Ende des Frostes verschieden ausfallen.

Wenn auf Grund der Wetterlage Nachtfrost zu erwarten ist, muß zunächst ein Mann als Alarmposten Dienst versehen. In Frostlagen kann eine Überwachung der Temperatur bereits ab 21 Uhr abends erforderlich sein. Zum Anzünden und (eventuellen früheren) Löschen ist mindest ein zweiter Mann/Hektar erforderlich, der bei Beginn der Beheizung Dienst versehen müßte. Bei Annahme eines Frostbeginnes um 23 Uhr und einer Dauer des Frostes bis 7 Uhr ergäbe sich daraus ein effektiver Arbeitsaufwand von 18 Arbeitsstunden, der unter Berücksichtigung von Vorbereitungs- und Wegzeiten auf 20 Arbeitsstunden aufgerundet sei. Nach der Beheizung sind die leergebrannten Heizgefäße wieder zu füllen, da während der kritischen Zeit täglich Einsatzbereitschaft bestehen muß. Es ist also weiters der für die zweite Füllung (16 Arbeitsstunden), Wiederrückleeren des Öles und Einsammeln der Töpfe (20 Arbeitsstunden/Hektar nach Zislavsky 1958) benötigte Arbeitsaufwand in Rechnung zu ziehen. Auch der für die Reinigung der Töpfe nach deren Einsammlung benötigte Arbeitsaufwand ist nicht unerheblich. Zwei Minuten pro Riess-Heiztopf, d. s. zirka 10 Arbeitsstunden/Hektar sind wohl mindest anzunehmen, wenn die Reinigung nicht allzu oberflächlich erfolgen soll. Insgesamt ergibt dies folgenden Arbeitsaufwand/Hektar:

Aufstellen	zirka 9 Arbeitsstunden
Füllen	zirka 16 Arbeitsstunden
Wartung (1 Frostnacht)*) . . .	zirka 20 Arbeitsstunden
2. Füllung	zirka 16 Arbeitsstunden
Rückleeren und Einsammeln . .	zirka 20 Arbeitsstunden
Reinigung*)	zirka 10 Arbeitsstunden
Insgesamt	zirka 91 Arbeitsstunden

Schätzt man den vor dem Aufstellen, bzw. nach dem Einsammeln der Töpfe für Transport und Aufbewahrung nötigen Arbeitsaufwand mit je 4 Arbeitsstunden, so erhält man als ungefähren Arbeitsaufwand der Geländeheizung (mit Riess-Heiztöpfen) unter Berücksichtigung einer Frostnacht **zirka 99 Arbeitsstunden/Hektar.** Für jede weitere Frostnacht kämen (Füllen + Wartung) zirka 36 Arbeitsstunden/Hektar hinzu. Ereignet sich dagegen kein Frost, verringert sich der

*) Geschätzt.

Arbeitsaufwand um zirka 46 Arbeitsstunden (Füllen + Wartung + Reinigung), so daß ein Arbeitsaufwand von **53 Arbeitsstunden** verbleibt, mit dem also auch in **Nicht-Spätfrostjahren** zu rechnen ist.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß die angegebenen Arbeitszeiten nur Richtwerte darstellen. Der tatsächliche Arbeitsbedarf wird je nach den besonderen Betriebsverhältnissen, bzw. den zur Verfügung stehenden technischen Mitteln mehr oder weniger verschieden sein. Genaue Kalkulationen können letzten Endes nur von jedem einzelnen Betrieb selbst erstellt werden.

2,222) Versuch 2

Nach Beendigung des Heizversuches vom 21./22. April 1959 (Versuch 1) wurden am Vormittag des 22. April sämtliche Heizgefäße wieder gefüllt und mit den Deckeln abgedeckt. In der Nacht vom 22. zum 23. April war Nachtfrost nur mehr in exponierten Lagen — zu diesen gehörte das Versuchsgebiet — zu erwarten. Da der Mitarbeiterstab bereits 28 Stunden Dienst versehen hatte, wäre ein weiterer Einsatz in der kommenden Nacht nicht möglich gewesen. Da eine Rettung der Ernte wegen der zu kurzen Brenndauer der Riess-Heiztöpfe ja ohnedies nicht möglich war, konnte leichten Herzens auf eine Fortsetzung der Versuche in der kommenden Nacht verzichtet werden. Die Töpfe blieben daher in gefülltem Zustande stehen. Da sich bis Mitte Mai keine weiteren Kälterückschläge ereigneten, wurde beschlossen, das Öl in einer möglichst windstillen Nacht abzubrennen.

Gute Gelegenheit bot hiezu die Nacht vom 25. zum 26. Mai 1959. Am 25. Mai lag Mitteleuropa unter dem Einfluß eines ausgedehnten, gradientschwachen Hochdruckgebietes, dessen Kern über Schottland lag. Am Morgen des 26. Mai hatte das Hochdruckgebiet zwar eine Abschwächung erfahren, doch gewährleistete ein über Österreich liegender schwacher Hochdruckkern allgemein heiteres und windschwaches Wetter. Das auch während der Nacht heitere Wetter schaffte für Ausstrahlung und nächtliche Abkühlung günstige Bedingungen.

Die Nacht vom 25. zum 26. Mai war bereits zu Beginn sternklar. Taubeginn konnte schon um 21 Uhr abends beobachtet werden. Die Windgeschwindigkeit in Bodennähe lag unter der Ansprechempfindlichkeit eines Schalen-Handanemometers (Fuess) und war geringer als im Versuch 1. Die Anordnung der Heizgefäße und Thermometer war dieselbe wie in Versuch 1. Die Ablesung der 30, gemäß Abb. 8 in der Anlage verteilten Minimumthermometer, wurde wie in Versuch 1 von 3 Personen besorgt. Die dazu benötigte Zeit betrug höchstens 15 Minuten (siehe auch S. 47). Thermometer Nr. 9 fiel infolge eines Defektes (Blasenbildung) aus. Die Ablesungen wurden, beginnend mit 23 Uhr, stündlich vorgenommen.

Tabelle 5:

Temperaturen während des Heizversuches vom 25./26. Mai 1959

Thermometer-Nr.	23 Uhr °C	0 Uhr °C	1 Uhr °C	2 Uhr °C	3 Uhr °C	4 Uhr °C	Min. (ca. 4.20) °C	5 Uhr °C
H 1 . . .	7·8	6·2	**10·3**	**8·9**	**6·2**	4·3	3·2	4·3
H 2 . . .	8·0	6·5	**13·0**	**11·6**	**6·0**	4·2	3·7	4·5
H 3 . . .	7·5	5·9	**10·9**	**12·0**	**5·0**	3·3	2·8	4·0
H 4 . . .	7·4	6·1	**13·7**	**15·4**	**6·2**	3·5	2·9	3·9
5 . . .	7·9	6·0	6·2	6·3	4·5	3·7	—	4·0
6 . . .	6·8	5·2	5·5	5·4	3·6	2·9	2·6	3·5
7 . . .	6·8	5·2	5·4	5·1	4·0	3·0	2·7	4·0
8 . . .	7·0	5·6	5·6	5·1	4·2	3·1	3·1	4·1
9 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
H 10 . . .	6·7	5·5	**8·9**	**8·0**	**6·2**	3·6	3·3	4·4
H 11 . . .	6·7	5·7	**9·0**	**8·6**	**5·8**	3·5	3·3	4·3
H 12 . . .	6·3	5·5	**8·2**	**8·0**	**5·2**	3·3	3·0	(5·0) *
H 13 . . .	6·0	5·2	**12·6**	**12·0**	**5·6**	3·0	2·8	4·0
14 . . .	6·9	5·7	6·2	5·8	4·6	3·5	3·1	4·3
15 . . .	5·7	4·6	5·5	4·9	3·5	2·5	2·2	3·7
16 . . .	6·6	5·2	5·6	5·0	4·0	3·2	2·6	3·9
H 17 . . .	7·9	7·0	**10·6**	**9·9**	**6·5**	3·7	3·0	4·0
H 18 . . .	7·6	7·0	**12·2**	**11·8**	**6·3**	3·7	3·1	3·9
H 19 . . .	7·5	6·6	**12·9**	**12·0**	**5·8**	3·2	2·6	4·0
H 20 . . .	7·5	6·6	**11·7**	**11·2**	**6·2**	3·0	2·3	3·5
21 . . .	7·0	6·2	5·2	5·0	4·0	3·0	2·4	3·4
22 . . .	6·8	5·3	5·0	4·5	3·7	3·0	2·4	3·3
23 . . .	6·8	5·8	5·1	4·6	3·6	2·9	2·8	4·0
24 . . .	8·0	7·3	5·6	5·0	4·2	3·9	3·2	4·1
25 . . .	7·6	7·0	5·3	4·7	4·1	3·5	3·0	4·0
26 . . .	7·2	6·6	5·0	4·4	3·8	3·1	2·6	3·5
27 . . .	6·9	6·1	4·6	4·1	3·5	2·9	2·5	3·5
28 . . .	7·1	6·0	4·8	4·6	3·8	3·0	2·7	3·5
29 . . .	7·0	6·0	5·3	4·5	3·7	3·0	2·7	3·7
30 . . .	6·0	5·0	4·4	3·5	3·2	2·5	2·2	3·3
B . . .	0	0	0	0	0	0	0	0
	—	—	Heizung	Heizung	Heizung	—	—	—
Z . . .	0	0	100%	100%	~45%	~2%	0	0

H = Thermometer innerhalb des Heizfeldes.
B = Bewölkung.
Z = Prozentuelle Anzahl der brennenden Töpfe.

* Von der Sonne beschienen.

Das Anzünden der Töpfe erfolgte mit Hilfe von Zündkannen zwischen 0.15 und 0.45 Uhr. Durchschnittlicher Anzündetermin: 0.30 Uhr. Als durchschnittlicher Verlöschtermin ist der Zeitpunkt 3.30 Uhr anzugeben. Die Brenndauer betrug daher in diesem Versuch zirka 3 Stunden. Die während dieses Versuches abgelesenen Tempera-

turen sind in Tabelle 5 angegeben. Wie auch in Versuch 1 sind die Ergebnisse von Tabelle 5 durch Mittelwertsbildung in Tabelle 6 zusammengefaßt und in Temperaturmessungen innerhalb des Heizfeldes und in Temperaturmessungen außerhalb des Heizfeldes gegliedert.

Tabelle 6:

Durchschnittstemperaturen innerhalb und außerhalb des Heizfeldes

	Zeit	Innerhalb des Heizfeldes ° C		Außerhalb des Heizfeldes ° C		Differenz ° C		
	23 h	+ 7·24	±0·19	+6·95	±0·14	+0·29	±0·23	(o)
	0 h	+ 6·15	±0·17	+5·81	±0·17	+0·34	±0·25	(o)
H	1 h	+11·17	±0·52	+5·31	±0·12	+5·86	±0·54	(***)
H	2 h	+10·78	±0·63	+4·85	±0·15	+5·93	±0·65	(***)
H	3 h	+ 5·92	±0·13	+3·88	±0·09	+2·04	±0·16	(***)
	4 h	+ 3·53	±0·12	+3·10	±0·09	+0·43	±0·15	(***)
	Min.	+ 3·00	±0·11	+2·68	±0·08	+0·32	±0·13	(*)
	5 h	+ 4·07	±0·09	+3·75	±0·08	+0·32	±0·11	(**)

H = Heizung; (o) = nicht gesichert; (*) = mit P ≤ 5% gesichert; (**) = mit P ≤ 1% gesichert; (***) = mit P ≤ 0·1% gesichert.

In Abb. 13 ist der Temperaturverlauf innerhalb und außerhalb des Heizfeldes graphisch dargestellt. Im Gegensatz zu Versuch 1 (Abb. 9) entspricht der Temperaturverlauf außerhalb des Heizfeldes in diesem Versuch einer klassischen Strahlungsnacht, in der die Temperatur stetig absinkt und gegen Sonnenaufgang ihr Minimum erreicht. Tabelle 6 und Abb. 13 und 14 zeigen deutlich, daß in diesem Versuch ein Einfluß der Lage (Lageeffekt) bemerkbar ist. Auch wenn nicht geheizt gewesen war, lag die Durchschnittstemperatur innerhalb des Heizfeldes um 0·32° C (gesichert) höher als außerhalb. Dieser Betrag ist daher von den in Tabelle 6 und Abb. 14 angegebenen Temperaturdifferenzen abzuziehen um die wahre, allein durch die Beheizung erzielte Temperaturerhöhung zu erhalten. Diese betrug kurz nach Beginn der Beheizung um 1 Uhr 5·54° C (= 5·86 - 0·32), um 2 Uhr 5·61° C und um 3 Uhr nur mehr 1·72° C. Der verhältnismäßig geringe Betrag der Temperaturerhöhung um 3 Uhr ist einerseits auf einen Leistungsrückgang der Heiztöpfe, zum größten Teil jedoch auf den Ausfall von 55% der Heiztöpfe zurückzuführen. Wenn 45% der Heiztöpfe eine Temperatursteigerung von 1·72° ergaben, dann sollten 100% die Temperatur um 3·83° C erhöhen. Gegenüber den Werten zu Beginn der Beheizung entspricht dies einer Leistung von nur zirka 69%. Um 4 Uhr brannten nur mehr 2% der Heiztöpfe spärlich; die effektive Temperatursteigerung ist dementsprechend gering (0·11° C) und zum Teil auch einer Nachwirkung der Beheizung (S. 30) zuzuschreiben. Um 4.20 Uhr (ungefährer

Abb. 13: Durchschnittlicher Temperaturverlauf innerhalb und außerhalb des Heizfeldes während des Heizversuches vom 25./26. Mai 1959.
B = Beginn der Heizung (Durchschn.), E = Ende der Heizung (Durchschn.).

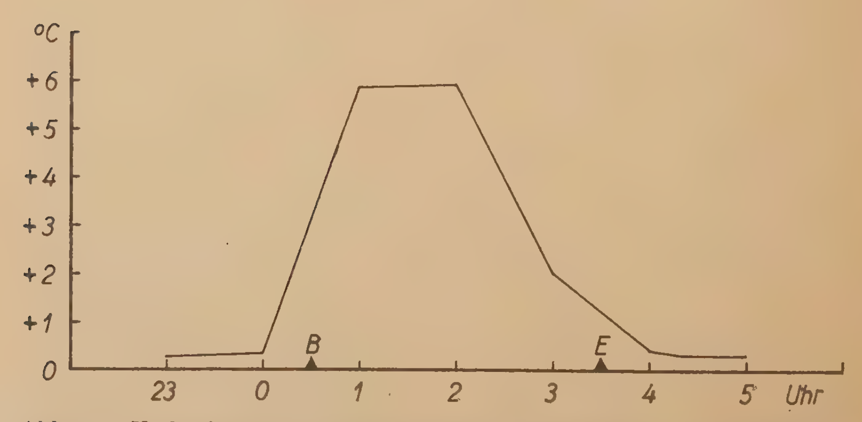


Abb. 14: Verlauf der Temperaturerhöhung (Differenz des Temperaturverlaufes: beheizt — unbeheizt von Abb. 13) während des Heizversuches vom 25./26. Mai 1959.
B = Beginn der Heizung (Durchschn.), E = Ende der Heizung (Durchschn.).

Zeitpunkt des Temperaturminimums) *) sind die Temperaturen bis auf ihre örtliche Verschiedenheit (0·32°) wieder ausgeglichen.

Abb. 15 zeigt das durchschnittliche Temperaturprofil parallel zur Schmalseite des Heizfeldes. Die in Tabelle 7 angegebenen zugehörigen Werte sind Mittelwerte der Profile 1 bis 7 (untere Reihe), 10 bis 16 (mittlere Reihe) und 17 bis 23 (obere Reihe) (siehe Abb. 8). Im Gegensatz zu Versuch 1 (Abb. 11) sind in Versuch 2 (Abb. 15) längs des Profils stärkere Temperaturunterschiede vorhanden. Der Punkt F des Profils zeigt beispielsweise durchwegs tiefere Temperaturen an als seine Umgebung. Dagegen scheint es in A und B allgemein etwas wärmer zu sein.

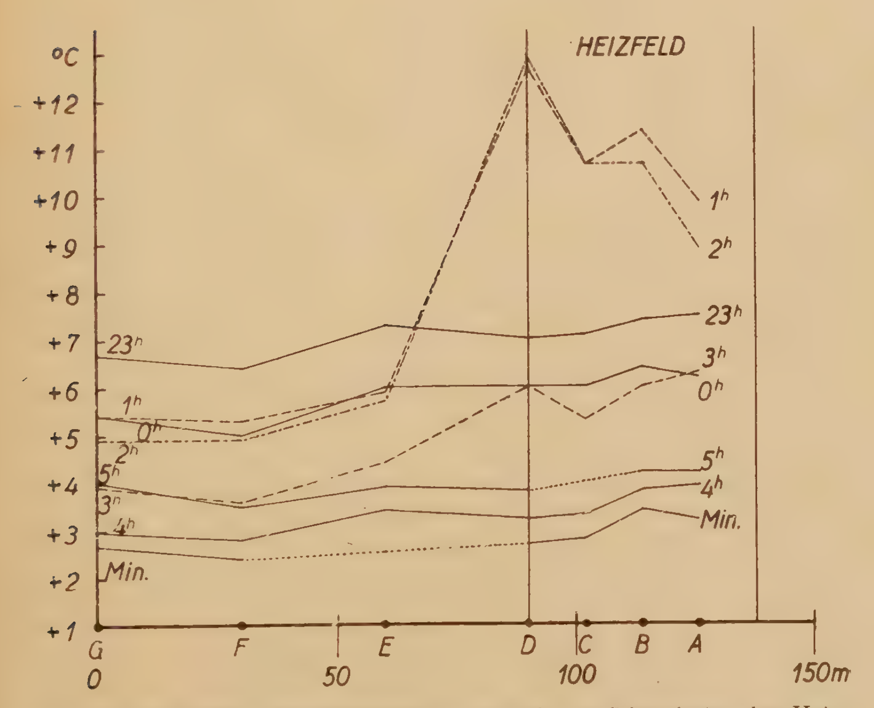


Abb. 15: Mittleres Temperaturprofil, parallel zur Schmalseite des Heizfeldes während des Heizversuches vom 25./26. Mai 1959. Der Bereich des Heizfeldes ist durch zwei senkrechte Striche gekennzeichnet. Wie in Abb. 8 bezeichnen die Buchstaben A bis G die Lage der (senkrechten) Temperaturreihen. Zur näheren Erläuterung siehe auch Tabelle 7.

*) Sonnenaufgang um 4.15 Uhr.

Tabelle 7:

Temperaturprofil

(parallel zur Schmalseite des Heizfeldes)

Zeit	A	B	C	D	E	F	G
23 h	7·5° C	7·4° C	7·1° C	7·0° C	7·3° C	6·4° C	6·7° C
0 h	6·2	6·4	6·0	6·0	6·0	5·0	5·4
H 1 h	9·9	11·4	10·7	12·7	5·9	5·3	5·4
H 2 h	8·9	10·7	10·7	12·9	5·7	4·9	4·9
H 3 h	6·3	6·0	5·3	6·0	4·4	3·6	3·9
4 h	3·9	3·8	3·3	3·2	3·4	2·8	3·0
Min.	3·2	3·4	2·8	2·7	—	2·4	2·7
5 h	4·2	4·2	—	3·8	3·9	3·5	4·0
	HF	HF	HF	HF			

Die angegebenen Temperaturen sind Mittelwerte, die aus den in Tabelle 5 angegebenen Temperaturen der nachstehend genannten Meßstellen errechnet wurden.
A: 1. 10. 17: B: 2. 11. 18: C: 3. 12. 19: D: 4. 13. 20: E: 5. 14. 21: F: 6. 15. 22: G: 7. 16. 23.
H = Heizung; HF = Temperaturwerte innerhalb des Heizfeldes.

Diese gegenüber Versuch 1 verstärkt bemerkbaren Lokaleffekte der Temperatur sind der geringeren Windgeschwindigkeit*) während des Versuches 2 zuzuschreiben, welche lokale Temperaturverschiedenheiten wesentlich weniger beeinflussen konnte, als die zwar ebenfalls nicht meßbare, aber doch merklich stärkere*) Windgeschwindigkeit in Versuch 1. Dies kommt auch in höheren Streuungswerten der während des Versuches 2 gemessenen Temperaturen zum Ausdruck. Erheblich stärker als die lokalen Temperaturverschiedenheiten ist der durch die Beheizung verursachte Temperaturanstieg. Um 1 Uhr ist sogar weit außerhalb der beheizten Fläche ein allgemeiner Anstieg der Temperatur zu verzeichnen. Infolge dieser, allerdings geringfügigen, Verfälschung der außerhalb des Heizfeldes in Richtung der Wärmeabdrift gemessenen Temperaturen, wären die in Tabelle 2 und 6 angegebenen Werte der Temperaturerhöhung (Differenz) noch um einige Zehntelgrade zu vermehren. Der Einfachheit halber wurde jedoch auf diese Korrektur verzichtet.

Die innerhalb des Heizfeldes beobachtete maximale Temperatursteigerung betrug um 1 Uhr (Meßstelle Nr. 4; siehe Tabelle 5) **8·1° C** (= 13·7 - 5·3 - 0·3) und um 2 Uhr **10·2° C** (= 15·4 - 4·9 - 0·3). Die zugehörige mittlere Temperaturerhöhung betrug um 1 Uhr **5·54° C** und um 2 Uhr **5·61° C** (Tabelle 6). Auf eine mögliche Erklärung dieser hohen Maximalwerte wird auf S. 66 hingewiesen.

---

*) Durch die Abdrift der Rußwolken beobachtbar.

In der nun anschließend folgenden Zusammenfassung des Heizversuches vom 25./26. Mai 1959 sind nur die von Versuch 1 abweichenden Daten angegeben. Die Anzahl der Heiztöpfe war in diesem Versuch um 4 Stück geringer (vom Traktor überfahren). Wegen des nach Beendigung des 1. Versuches in den Heiztöpfen verbliebenen Rückstandes und starken Rußansatzes am Innenmantel war auch die (geschätzte) Füllmenge geringer.

Tabelle 8:

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Datum: 25./26. Mai 1959.

Riess-Töpfe. kleine Type: 270 Stück (Füllung zirka 4·5 Liter = 4·15 kg Öl).

Riess-Töpfe, große Type: 88 Stück (Füllung zirka 8·35 Liter = 7·7 kg Öl).

Gesamtofenzahl (Rechtecksverband)	358 Stück
Aufstellungsdichte	273 Stück/Hektar
Mittlere Brenndauer	Zirka 3 Stunden
Gesamtölverbrauch	Zirka 1798 kg
Verbrauch pro Hektar	Zirka 1372 kg
Durchschnittlicher Verbrauch pro Heiztopf	Zirka 5·02 kg
Mittlerer stündlicher Verbrauch pro Hektar	Zirka 457 kg
Mittlerer stündlicher Verbrauch pro Heiztopf	Zirka 1·67 kg
Mittlere Wärmeentwicklung pro Hektar und Stunde	Zirka 4.570.00 kcal.
Mittlere Temperaturerhöhung	+ 4·29° C
Wirkungskoeffizient	Zirka 0·94° C/100 kg Öl/Hektar Stunde

Die mittlere Temperaturerhöhung wurde aus den Werten für 1 Uhr. 2 Uhr und 3 Uhr berechnet. Der Korrektursummand von 0·32° C wurde bereits abgezogen. Aus dem stündlichen Verbrauch/Hektar und der mittleren Temperaturerhöhung errechnet sich ein Wirkungskoeffizient von **0·94° C/100 kg Öl/Hektar Stunde.** Der kalorische Wirkungskoeffizient beträgt **0·94° C/Gcal/Hektar Stunde** und unterscheidet sich nur wenig von dem theoretisch zu erwartenden Wert (1° C/Gcal/Hektar Stunde).

2,3) Vergleich und Besprechung der Versuchsergebnisse

Vor der Diskussion der Versuchsergebnisse sei eine kurze Zusammenstellung der für die Beurteilung der Heizwirkung wichtigen Daten angegeben. Nähere Einzelheiten sind den Tabellen 4 und 8 zu entnehmen.

Die mit den Riess-Töpfen in Strahlungsnächten erzielbare Temperatursteigerung von **zirka 4·6° C** genügt, um auch schwere Fröste abzuwehren. Diese über der Erwartung (3° C) liegende Temperatursteigerung ist durch die verhältnismäßig hohe Brennleistung (1·67 kg/h)*)

---

*) Durchschnittswert von großer und kleiner Topftype. gemäß der Versuchsanordnung.

Tabelle 9:

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

	Versuch 1	Versuch 2	Mittelwert
Mittlere Temperaturerhöhung .	4·91° C	4·29° C	**4·60° C**
Maximale Temperaturerhöhung .	10·70° C	10·20° C	**10·45° C**
Wirkungskoeffizient (° C/100 kg Öl/Hektar Stunde, bzw. °C/Gcal/Hektar Stunde)	1·06	0·94	**1·00**
Brenndauer	3·2 Stde.	3·0 Stde.	**3·0 Stde.**
Brennleistung	1·67 kg/Stde.	1·67 kg/Stde.	**1·67 kg/Stde.**

der Heizgefäße erklärbar, denn der durchschnittliche Wirkungskoeffizient dieser Versuche stimmt mit dem theoretisch zu erwartenden Wirkungskoeffizienten völlig überein. Dies beweist, daß an diesem, allerdings nur für Strahlungsnächte ohne meßbare Windstärke, gültigen Richtwert (1° C/Gcal/Hektar Stunde) festgehalten werden kann. Mit anderen Worten: **Bei offener Verbrennung von 300 kg Öl/Hektar** (z. B. 300 Heizgefäße/Hektar mit einer Leistung von 1 kg/h) **ist mit einer mittleren Temperatursteigerung von 3° C zu rechnen.** Wird (z. B. in ausgesprochenen Frostlagen) eine stärkere Erwärmung erwünscht, so können durch Aufstellung einer entsprechend größeren Anzahl von Heizgefäßen oder durch Verwendung von Heizgefäßen höherer Leistung, auch stärkere Fröste wirkungsvoll abgewehrt werden. Bei richtiger Dosierung der pro Hektar aufzuwendenden Ölmenge stehen die Primitivheizgefäße den komplizierteren und daher teureren Heizöfen hinsichtlich ihrer Eignung für den Frostschutz kaum nach. Allerdings ist bei den strahlenden Ofentypen ein etwas höherer Wirkungskoeffizient zu erwarten. Die Messung dieser Größe muß vorerst noch weiteren Versuchen vorbehalten bleiben.

Einige ergänzende Worte sind noch zur Deutung der beobachteten Maximalwerte der Temperaturerhöhung vonnöten. Eine durchschnittlich maximale Temperatursteigerung von 10·45° C läßt sich nach der Theorie der „Plafondwirkung" nicht erklären, da derart starke Temperaturinversionen, von Einzelfällen abgesehen, in der Praxis kaum vorkommen. Da die Thermometer innerhalb der Baumreihen in maximaler Entfernung von den zwischen den Baumreihen befindlichen Heiztöpfen aufgestellt waren, entfällt auch eine unterschiedliche Beeinflussung der Thermometer. Die Thermometer selbst reagieren infolge ihrer klaren Indikatorflüssigkeit kaum auf Wärmestrahlung. Es ist daher anzunehmen, daß die beobachtete starke Erwärmung durch das Vorbeistreichen stärker erhitzter Luft an den Thermometern bzw. Pflanzenteilen erklärt werden kann. Sowohl in Versuch 1 als auch in Versuch 2 trat das Temperaturmaximum stets bei Meßstelle Nr. 4 auf. Dieser Punkt liegt an der

linken unteren Ecke des Heizfeldes (Abb. 8), wohin durch den, wenn auch nur schwachen Wind, bereits vorerwärmte Luft transportiert wurde. Außerdem befand sich Thermometer Nr. 4 in der Nähe der mit den leistungsfähigeren, großen Riess-Heizgefäßen besetzten Randreihe, wodurch ebenfalls die Möglichkeit einer stärkeren Wärmezufuhr geboten war.

Sehr hohe Werte der Temperaturerhöhung bei der Geländeheizung konnten auch von Stahel (1959) beobachtet werden. Aus den von Stahel auf Seite 264 angegebenen Temperaturkurven geht hervor, daß eine maximale Temperatursteigerung von 7·5° C (1.30 Uhr) erzielt werden konnte. Leider ist nicht zu entnehmen, ob es sich um einen Mittelwert oder nur um die Ablesung je eines einzigen Thermometers handelt. Die Untersuchungen Stahels wurden mit einem „strahlenden" Ofen, dem „Calor-Ofen" durchgeführt.

Spezifische Daten der Riess-Heiztöpfe sind deren Brennleistung und deren Brenndauer. Hier ist mit allem Nachdruck festzustellen, daß eine durchschnittliche Brenndauer von nur 3·1 Stunden den praktischen Anforderungen in keiner Weise genügt. 6 bis 8 Stunden Brenndauer sind von einem guten Frostschutzgerät mindest zu verlangen.

Die aus Versuch 1 und 2 errechnete Durchschnittsleistung*) eines Riess-Heiztopfes, vom Betrage 1·67 kg Öl/Stunde, liegt zweifellos über dem gebräuchlichen Durchschnitt. Eine mittlere Leistung von etwa 1 kg Öl (= zirka 1·09 Liter) pro Ofen und Stunde genügte, wenn mit rund 300 Öfen oder Heiztöpfen pro Hektar eine Temperatursteigerung von zirka 3° C erzielt werden soll. Bei Bekämpfung schwerer Fröste könnten entsprechend mehr Heiztöpfe aufgestellt oder solche mit höherer Brennleistung verwendet werden. Da die Schwere eines Frostes bei der Aufstellung der Heizgefäße nicht vorauszusehen ist, wird man lieber zuviel als zuwenig Heizgefäße aufstellen. In der Fußnote von Seite 65 wurde bereits erwähnt, daß der Wert 1·67 kg/Stunde als „Mischwert" von großen und kleinen Heizgefäßen aufzufassen ist. Unter Berücksichtigung der bei Zislavsky (1958) in Tabelle 3 angegebenen Werte (kleine Type 0·83 kg/h, große Type 1·42 kg/h = Durchschnitt von Heizöl - Mittel und Spindelöl) errechnet sich aus dem Verhältnis der Leistungen $\left(\frac{1{\cdot}42}{0{\cdot}83} = 1{\cdot}71\right)$ und aus der in Versuch 1 verwendeten Anzahl der Heiztöpfe (273 kleine Töpfe + 89 große Töpfe) für die kleine Topftype eine Leistung von **zirka 1·4 kg/h** und für die große Topftype eine Leistung von **zirka 2·4 kg/h.** Daß diese Leistungen derart stark von den in den Vorversuchen (Zislavsky 1958) festgestellten Leistungen (siehe oben) abweichen, muß vorläufig als Tatsache hingenommen werden. Die verschiedene Berechnungsart der Brennleistung – in den Vorversuchen wurde der in den Töpfen verbliebene Rückstand vor der Berechnung abgezogen – fällt

*) Siehe Fußnote auf Seite 65.

jedenfalls kaum ins Gewicht, da der betreffende Unterschied nur einige Prozent ausmacht. Ein gewisser Teil der Unterschiede mag durch die verschiedene Beurteilung der Brenndauer erklärbar sein. In den Vorversuchen war als Verlöschtermin jener Zeitpunkt angenommen worden, bei dem nur mehr die Hälfte des Bodens mit Flammen bedeckt war. Für die Praxis dürfte diese Art der Beurteilung jedoch zu milde sein; es ist anzunehmen, daß ein Teil der Töpfe, vielleicht unter der Wirkung eines momentanen Luftzuges bereits etwas früher verlöscht. Ein geringfügiger Wassergehalt des Öls könnte denselben Effekt bewirken.

Wenn bisher über die Primitivheizgefäße nur in positivem Sinne berichtet wurde, so darf doch auch nicht vergessen werden die Nachteile zu erwähnen. Das Fehlen einer Regulierungsmöglichkeit bei Primitiv-Heizgefäßen ist zweifellos ein Nachteil, den moderne Geländeheizöfen in der Regel nicht besitzen. Es ist klar, daß moderne, mit Zugregulierung ausgestattete Geländeheizöfen wirtschaftlicher arbeiten können, da die Temperatur nicht unnötigerweise höher gehalten werden muß, als es zur Vermeidung von Schäden unbedingt erforderlich ist. Bei Primitiv-Heizgefäßen ist eine annähernd brauchbare Regulierung nur dadurch zu erreichen, daß man nur soviele Gefäße (gleichmäßig verteilt) brennen läßt, als zur Erzielung der gewünschten Temperatursteigerung nötig ist. Wenn gegen Morgen die Temperatur stärker absinkt, kann man dann die in Reserve gehaltenen Heizgefäße in Brand setzen.

Wenn die mangelnde Regulierungsfähigkeit der Primitiv-Heizgefäße durch die eben genannte Maßnahme hinlänglich umgangen werden konnte, ist ein weiterer Nachteil, die starke Rußentwicklung, kaum zu verhindern. Die Rußentwicklung ist bei Verbrennung von Öl in primitiven Heizgefäßen wesentlich stärker als bei Verbrennung des Öls in Öfen mit gut ziehenden Kaminen. Anderseits vermindern die Rußwolken wieder in bescheidenem Maße die effektive Ausstrahlung und unterstützen daher die Heizwirkung. Die nach Beendigung von Versuch 1 und Versuch 2 an den Blättern und Blüten festgestellten Rußbeläge waren in unmittelbarer Nähe eines Heizgefäßes am stärksten. Hier waren die Zweige richtig überkrustet. Erstaunlicherweise war der Ruß — mit Ausnahme der stärksten Krusten — durch Wegblasen zum größten Teil leicht zu entfernen. Wind und Regen dürften daher genügen, um den Ruß in kurzer Zeit zu entfernen. Auch Stahel (1959) schreibt auf Seite 265, daß die Blätter durch den Rußbelag keine Schädigung erlitten und auch der Bienenflug normal gewesen sei. Wie dem auch sei, es übertrifft der Nutzen einer selbst mit einfachen Behelfen durchgeführten Geländeheizung den durch die Verrußung möglicherweise zu erwartenden Schaden bei weitem.

Wenn nun abschließend auf Grund der vorangegangenen Versuche ein Werturteil über die Eignung primitiver und daher billiger Heizgefäße abgegeben werden soll, dann ist festzustellen, daß die Leistung derartiger Geräte befriedigt, soferne mindest 300 kg Heizöl/Hektar Stunde verbrannt werden können und die Brenndauer dieser Gefäße mindest 6 bis 8 Stun-

den beträgt. Die Riess-Heiztöpfe in ihrer gegenwärtigen Form entsprechen diesen Anforderungen wegen zu kurzer Brenndauer nicht, doch ist die betreffende Firma bereits an einer Änderung bemüht.

Die Wirtschaftlichkeit des Betriebes primitiver Heizgefäße ist im Vergleich mit vollkommenen Ofentypen auf allgemeiner Basis nur schwer zu beurteilen. Soferne beide Ofentypen (Heizgefäße und komplizierte Öfen) mit der gleichen Öl-Aufwandmenge auch dieselbe Temperaturerhöhung bewirken, besteht hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Betriebes natürlich kein Unterschied. Kann dagegen — und dies ist bei den „strahlenden" Geländeheizöfen theoretisch zu erwarten — der gleiche Temperatureffekt infolge der Strahlungswirkung bereits durch Aufwendung einer geringeren Brennstoffmenge erreicht werden, dann hängt die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit entscheidend von der Menge des (gegenüber den Primitiv-Heizgefäßen) eingesparten Öls ab. Es ist nämlich nicht zu vergessen, daß der Betrieb komplizierterer Ofentypen zwangsweise mit einem höheren Arbeitsaufwand verbunden ist. Erfahrungsgemäß ist der bei Aufstellen, Füllen, Wartung, Reinigung und Lagerung erforderliche Arbeitsaufwand, vor allem wegen der weniger einfachen Handhabung und der zahlreichen Einzelteile größer als bei einfachen Heizgefäßen. Die durch den höheren Wirkungsgrad und durch die Regulierungsmöglichkeit der komplizierten Geländeheizöfen bedingte Öleinsparung muß daher zunächst die höheren Arbeitskosten kompensieren. Setzt man den Arbeitsbedarf der Geländeheizung (1 Frostnacht) mit 100 Arbeitsstunden/Hektar an (S. 38) und nimmt an, daß der, für komplizierte, aus mehreren Einzelteilen bestehende Öfen, benötigte Arbeitsaufwand um 30% mehr beträgt (Schätzung), dann muß die bessere Wirkung dieser Öfen zunächst die Mehrkosten für die zusätzlichen 30 Arbeitsstunden/Hektar decken, ehe Amortisationsberechnungen durchgeführt werden können. Bei einer Bezahlung von S 10·— pro Arbeitsstunde erhält man einen Mehraufwand von S 300·—/Hektar. Die diesem Betrage äquivalente Ölmenge von 300 kg Heizöl-Leicht müßte bei der Beheizung durch eine bessere Wirkung kompensiert werden. Unter Voraussetzung einer achtstündigen Beheizung ergibt dies eine stündliche Menge von zirka 38 kg Öl/Hektar.

Wenn primitive Heizgefäße mit 300 kg Öl/Hektar Stunde eine Temperatursteigerung von 3° C erzielen können, dann müßten — Gültigkeit der vorhin gemachten Annahmen vorausgesetzt — Strahlungsöfen dieselbe Temperaturerhöhung bereits mit **262 kg Öl/Hektar Stunde** (= 300 - 38) erreichen können, um rentabler zu sein. Dies entspricht einem Wirkungskoeffizienten von **1·15° C/100 kg Öl/Hektar Stunde** gegenüber 1° C 100 kg Öl/Hektar Stunde bei den primitiven Heizgefäßen. Oder mit anderen Worten: Sollen die Strahlungsöfen unter den genannten Bedingungen im Einsatz rentabler zu stehen kommen als einfache Heizgefäße, so müßte deren Wirkung bei einer Verbrennung von 300 kg Öl/Hektar Stunde mindest 3·45° C betragen, gegenüber 3° C bei den ein-

fachen Heizgefäßen. Erst eine diesen Betrag übersteigende Wirkung, bzw. eine Öleinsparung über 38 kg/Hektar Stunde, ist eine echte Einsparung, die als Berechnungsgrundlage für die Amortisation der Preisdifferenz zwischen den Heizgefäßen und den komplizierten Strahlungsöfen angenommen werden kann. Nähere Einzelheiten über die Berechnung jener Amortisation auszusagen, wäre hier verfehlt, da dies die Kenntnis des tatsächlichen Wirkungsgrades der vergleichsweise zu beurteilenden Ofentypen voraussetzt. Diese Kenntnis kann aber nur aus Versuchen gewonnen werden. Es bleibt zu hoffen, daß auch diese Frage im Laufe der Zeit einer experimentellen Klärung zugeführt wird und so zur Lösung des vorwiegend auf finanzieller Ebene liegenden Frostproblems beiträgt.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Die derzeit wirksamsten und zweckmäßigsten Frostabwehrverfahren sind Beheizung und Beregnung. Obwohl am wirksamsten, kommen Beregnungsanlagen hinsichtlich ihrer Anschaffungskosten sehr teuer zu stehen und sind außerdem an ausreichende Wasservorkommen gebunden. Aus diesem Grunde — und auch infolge der größeren Betriebssicherheit — besteht in Österreich nach wie vor großes Interesse an der Geländeheizung. Die Praxis fordert dabei Heizgeräte, die nicht nur wirksam, sondern auch billig sein sollen.

Es wurde daher in der vorliegenden Arbeit geprüft, ob mit billigen und daher verhältnismäßig primitiven (offenen) Heizgefäßen („Riess"-Töpfe) eine befriedigende Temperaturerhöhung erzielt werden kann.

In Vorversuchen wurde im Jahre 1958 in einer niederösterreichischen Obstanlage auf einer Fläche von 1·23 ha eine durchschnittliche Temperatursteigerung von zirka 1·5° C erzielt. Die Aufstellungsdichte betrug in diesem Versuch nur 160 Heiztöpfe/Hektar, die stündlich verbrauchte Ölmenge zirka 190 kg/Hektar. Eine genaue Beschreibung dieser hier nur auszugsweise behandelten Versuche ist bei Zislavsky (1958) angegeben.

Im Jahre 1959 konnten anläßlich eines schweren Frosteinbruches am 21./22. April 1959 umfangreichere Untersuchungen auf einer Fläche von 1·31 ha (Weichselanlage) unternommen werden. Bei einem stündlichen Heizölverbrauch von zirka 461 kg/Hektar (276 Heiztöpfe/Hektar) wurde in der fast windstillen Frostnacht eine durchschnittliche Temperaturerhöhung von 4·9° C beobachtet. Eine Wiederholung des Versuches in der Strahlungsnacht vom 25./26. Mai 1959 erbrachte bei einem stündlichen Heizölverbrauch von zirka 457 kg/Hektar eine durchschnittliche Temperaturerhöhung von 4·3° C.

Zur objektiven Beurteilung verschiedener Heizversuche empfiehlt sich die Angabe eines sogenannten „Wirkungskoeffizienten", der das Verhältnis der erzielten Temperatursteigerung zur aufgewendeten Brennstoffmenge (Wärmemenge) zum Ausdruck bringen soll. Der durchschnittliche Wirkungskoeffizient der beiden Versuche des Jahres 1959 ergab sich zu rund 1° C/100 kg Öl/Hektar Stunde.

Die überaus hohen lokalen Maximalwerte der durch die Beheizung erzielten Temperatursteigerung (10·45° C) lassen vermuten, daß zur Erklärung der Heizwirkung die sogenannte „Plafondwirkung“ der Temperaturinversion nicht allein ausreicht, sondern daß auch die konvektive Erwärmung, das ist das Vorbeistreichen erhitzter Luft an den Pflanzenteilen besondere Beachtung verdient.

Soweit es möglich war, wurde bei der Beschreibung der Versuche auch eine Zusammenstellung der jeweils benötigten Arbeitszeiten angegeben.

Die Geländeheizung unter Verwendung primitiver Heizgefäße kann als wirksame Frostabwehrmethode empfohlen werden, soferne die Brenndauer der verwendeten Heizgefäße genügend lang ist (6 bis 8 Stunden). Die geprüften Riess-Heiztöpfe entsprachen dieser Forderung wegen zu kurzer Brenndauer nicht; ihre Verwendung bleibt daher auf kleine Flächen beschränkt, wo ein Nachfüllen des Öls noch arbeitstechnisch möglich ist.

4. SUMMARY

The most effective and economic methods to prevent frost are heating and raining. Though most effective, raining plants are becoming very expensive and are furthermore bound to great water reserves. For that reason — and because of a better guarantee of good functioning — a great interest on the heating method consists in Austria. For practical work heating facilities are needed which are not only effective but also cheap.

The purpose of this work was to show whether it is possible or not to raise the temperature with cheap and relatively primitive heating pots („Riess“-pots).

Preliminary experiments in 1958, carried out in an orchard with an area of 1·23 ha, indicated, that it was possible to raise the temperature for approximately 1·5° C. There werde 160 pots on a ha, needing about 190 kg oil per hour. A detailed description of these experiments can be looked up in the paper of Zislavsky (1958).

In 1959 thorough investigations were carried out on an area of 1·31 ha. when a cold spell appeared on April 21./22. In the calm and frosty night an average increase in temperature of 4·9° C could be observed, using about 461 kg oil per hour and ha (276 heating pots on a ha). A second trial in the clear night of May 25./26. brought an increase of 4·3° C. The amount of oil was about 457 kg per hour and ha.

To make accurate evaluations of different heating experiments it is well to use an efficiency coefficient, which shows the ratio of increase in temperature and amount of fuel consumed. The average efficiency coefficient of the trials in 1959 was about 1° C per 100 kg oil/ha and hour.

The especially high values of 10·45° increase in temperature obtained locally, indicate that the explanation of the heating effect by temperature

inversion does not suffice, but is obtained in addition by convection through the circulating air which passes the plant parts.

As far as possible, computation of the time required for the work, is listed in the description of the experiments.

The heating of orchards, using simple pots can be recommended as an effective method to prevent frost if there is a sufficiently long time of burning (6 bis 8 hours). The „Riess"-heating pots do not meet those requirements; their use is limited to small areas therefore, where a refueling of the pots is possible.

5. LITERATUR

Brügel, W. (1951): Physik und Technik der Ultrarotstrahlung. — Vincentz-Verlag, Hannover, 1951.

Eckel, O. u. Sauberer, F. u. Steinhauser F. (1955): Klima und Bioklima von Wien; 1. Teil. — Wien, 1955.

V. Eimern, J. u. Loewel, E. (1954): Frostschutzversuche mittels Propeller. — Mitt. d. OVR. d. alt. Landes, **9**, 22—30.

Hodgson, R. W. u. Schoonover, W. R. u. Young, F. D. (1930): Frost protection in california orchards. — Californ. agric. ext. serv., Circular **40**, 1—73.

Kemmer, E. u. Schulz, F. (1955): Das Frostproblem im Obstbau. — Bayr. Landw. Verlag, München, 1955.

Kobel, F. (1954): Lehrbuch des Obstbaues. — Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1954.

Lehmann, P. (1950): Frostheizmethoden im Gelände. — Arb. d. deutsch. Landw.-Ges. **9**, 31—33.

Löschnig, J. (1928): Frostschäden und Frostschutz in der Landwirtschaft mit besonderer Berücksichtigung des Weinbaues. — Scholle-Verlag, Wien, 1928.

Sauberer, F. (1954): Zur Abschätzung der Gegenstrahlung in den Ostalpen. — Wetter und Leben, **6**, 53—56.

Sauberer, F. (1956): Über die Strahlungsbilanz verschiedener Oberflächen und deren Messung. — Wetter und Leben, **8**, 12—26.

Stahel, M. (1959): Weitere Erfahrungen in der Spätfrostbekämpfung mit Beheizen in einer Obstanlage. — Schweiz. Zeitschr. für Obst- und Weinbau, **68**, 261—267.

Westphal, W. H. (1953): Physik. — Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1953.

Witte, K. (1950): Beregnung als Frostschutz. — Arb. d. deutsch. Landw.-Ges. **9**, 35—39.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien (1959): Monatsübersichten, Tägl. Wetterberichte, April 1959.

Zislavsky, W. (1958): Grundlagen der Frostresistenz und des Frostschutzes. — Der Pflanzenarzt, **11**, 3. Sonder-Nr., 1—12.

Eigentümer. Verleger u. Herausgeber: Bundesanstalt für Pflanzenschutz, verantwortlicher Redakteur: Dr. Ferdinand Beran, sämtliche Wien 2., Trunnerstraße 5
Druck: Raiffeisendruckerei. Wien 18., Theresiengasse 58

